



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTOL DEL TFC: Influència dels Flash heats en l'aeronavegació

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTOR: Lenin Ramírez Valdes

DIRECTOR: Jordi Mazón Bueso

DATA: 2 de abril de 2013

Títol: Flash Heat

Autor: Lenin Ramírez Valdes

Director: Jordi Mazón Bueso

Data: 1 de febrer de 2013

Resum

La definició d'onada de calor varia en funció de la zona geogràfica mundial. A Espanya per exemple, l'Agència Estatal de Meteorologia (AEM) la defineix com un període de com a mínim 3 dies amb temperatures ambientals superiors als 32,3°C. A nivell internacional l'Organització Meteorològica Mundial (WMO) dictamina que per poder parlar d'onada de calor la temperatura ha de ser anormalment alta durant com a mínim 2 dies.

Per altre banda, la Amercian Meteorological Society defineix un *heat burst* com una pujada de temperatura fins a uns nivells anormalment alts durant uns pocs minuts.

Analitzant les definicions d'onada de calor i de *heat burst* es pot observar que entre els dos fenòmens hi ha un buit temporal que a data d'avui no està definit per cap fenomen conegut. Aquest buit no només és temporal, també és espacial ja que una onada de calor abasta zones molt extenses de terreny, mentre que un *heat burst* a penes abasta uns pocs quilòmetres. Per omplir aquest buit, basant-me en les observacions del meteoròleg Jordi Mazón, dono a conèixer el fenomen "Flash Heat" que tindrà les característiques intermèdies, a nivell temporal i espacial, entre una onada de calor i un *heat burst*.

Per tant, l'objectiu principal d'aquest treball és, a partir de l'anàlisi d'un cas real, analitzar aquest nou fenomen meteorològic i donar una mostra de la seva existència mostrant com es produeix la pujada de la temperatura ambiental fins a quotes anormalment elevades durant un període inferior a 2 dies però superior a uns minuts. Afectant a un espai de terreny comprés entre els que abastarien una onada de calor i un *heat burst*.

Aquest anàlisi es durà a terme mitjançant l'estudi de dades d'estacions meteorològiques de la zona de Creta (Grècia) i mitjançant l'estudi d'una simulació numèrica de les condicions ambientals per tal d'analitzar els canvis atmosfèrics de la zona afectada.

L'altre objectiu del treball és analitzar els possibles efectes que pot portar en el món de l'aeronàutica el fet de sobrevolar una zona que estigui patint un Flash Heat. Ja que això comportaria uns canvis molt ràpids en factors bàsics per aconseguir la sustentació com són la pressió, la densitat o la temperatura que poden afectar negativament a les operacions de vol de les aeronaus.

Aquest segon anàlisi es durà a terme fent un estudi de com es relacionen les condicions de vol dels diferents tipus d'aeronaus amb els factors que varien en un flash heat, agafant sempre com a referència l'episodi de flash heat estudiat.

Title: Flash Heat

Author: Lenin Ramírez Valdes

Director: Jordi Masón Bueso

Date: January, 1st 2013

Overview

The definition of heat wave varies depending of the world geographical area. In Spain, for example, the Spanish meteorological agency (AEM) defines heat wave as a period of at least 3 days with temperatures exceeding 32.3°C. Internationally the World Meteorological Organization (WMO) considers that to talk about heat wave temperature should be abnormally high for at least 2 days.

On the other hand, the American Meteorological Society defines *heat burst* as a rise of temperature to abnormally high levels that lasts a few minutes.

Analyzing the definition of heat wave and *heat burst* can be observed that between the two phenomena there is a temporary gap which is not defined by any known phenomenon. This vacuum is not only temporary, it's also spatial as a heat wave covers large areas of land while a *heat burst* encompasses just a few kilometers. To fill this gap, considering the observations of meteorologist Jordi Mazón, I present the phenomenon "Flash Heat" as the event which has intermediate characteristics between a heat wave and a *heat burst* in reference to the duration of time and the space spanned.

Therefore the main objective of this project is to give a sample of the existence of this new weather phenomenon thanks to the analysis of a real case. Also to explain how the flash heat event develops to get a rise in temperature to abnormally high values for a period of less than 2 days. Affecting an area of land included between the covering area of a heat wave and a *heat burst*. This analysis is carried out by studying data from weather stations in the area of Crete (Greece) and by studying a numerical simulation of the ambient conditions to analyze the atmospheric changes in the affected area.

The other goal of this project is to analyze the possible effects that can bring to the aeronautics world to fly over an area which is suffering a Flash Heat. Since this involves some rapid changes in basic factors as pressure, density and temperature that can adversely affect the lift and the flight operations of aircrafts.

This second analysis is carried out by studying how flight conditions interact with the factors which vary in a flash heat event, always taking as reference the flash heat event studied.

Dedicat a la meva mare,
que passi el que passi sempre estarà allà.

ÍNDIX

INTRODUCCIÓ	8
CAPÍTOL 1. FLASH HEAT	10
1.1 Què és un flash heat?	10
1.1.1. Onada de calor	10
1.1.2. <i>Heat burst</i>	11
1.1.3. Definició de flash heat	12
1.2 Causes del Flash heat.....	13
1.2.1. Efecte foehn	13
1.2.2. Dinàmica atmosfèrica	15
1.3 Impactes d'un flash heat a nivell general.....	18
CAPÍTOL 2. ANÀLISI D'UN EXEMPLE D'EPISODI DE FLASH HEAT	19
2.1. Episodi del 22 al 23 de març a Heraklion	19
2.2. Situació sinòptica	19
2.3 Anàlisi de les dades superficials de Heraklion	20
2.3.1. Relació temperatura-humitat	21
2.3.2. Relació temperatura-punt de rosada	22
2.3.3. Relació temperatura-densitat	23
2.3.4. Relació direcció-força del vent	24
CAPÍTOL 3. ANÀLISI DE LA SIMULACIÓ NUMÈRICA	26
3.1 Model WRF	26
3.2 Simulació numèrica.....	26
3.2.1 Primer anàlisi.....	27
3.2.2 Seccions verticals.....	31
CAPÍTOL 4. INFLUÈNCIA DELS FLASH HEAT A L'AERONAVEGACIÓ.....	35
4.1. Consideració prèvia	35
4.2. Conseqüències del flash heat a l'aeronàutica (I)	36
4.2.1. Densitat	36
<i>Efectes de la densitat en la sustentació</i>	<i>36</i>
<i>Efectes de la densitat en la resistència</i>	<i>38</i>
<i>Efectes de la densitat en els motors</i>	<i>39</i>
<i>Efectes de la densitat en les hèlixs</i>	<i>40</i>
<i>Altres efectes de la densitat</i>	<i>40</i>
4.2.2. Humitat	41
4.2.3. Vent	41
4.2.4. Temperatura	44

4.3. Conseqüències del flash heat a l'aeronàutica (II)	45
4.3.1. Aeròstats	45
4.3.2. Aerodines amb ala giratòria	46
4.3.3. Aerodines amb ala fixe	47
CONCLUSIONS	48

INTRODUCCIÓ

L'Organització Meteorològica Mundial (WMO) defineix una onada de calor com un fenomen de temperatura anòmalament càlida, superior en promig diari en com a mínim 5°C a la mitjana respecte el període comprès entre el 1961 i el 1990 i d'una durada de més de dies consecutius mitjana. supera en 5 graus la temperatura màxima diària mitjana respecte el període comprès entre el 1961 i el 1990. A Espanya en canvi l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMet) la defineix com un període de com a mínim 3 dies amb temperatures ambientals superiors als 32,3°C.

La definició té lleugeres variacions en els valors de temperatura i en el temps de durada segons quin sigui el servei meteorològic consultat. Cada agència de cada zona mundial estableix la seva definició pròpia o adopta la d'un organisme superior. No obstant això, en totes les definicions hi ha una característica comuna. Per parlar d'onada de calor cal almenys una durada de 2 dies consecutius de valors anormals de temperatura.

Per altre banda, la American Meteorological Society defineix un *heat burst* com un fenomen meteorològic poc comú caracteritzat per una ràpid increment sobtat de la temperatura a nivell local d'una durada d'uns pocs minuts, associats al decaïment de les tempestes i descensos adiabàtics d'aire.

En una escala intermèdia entre l'onada de calor i el *heat burst*, existeix algun fenomen atmosfèric?

Aquest buit no només és temporal, sinó que també és espacial ja que una onada de calor abasta zones molt extenses de terreny (fins a milers de quilòmetres), mentre que un *heat burst* a penes abasta uns pocs quilòmetres. Per tant, basant-me en aquesta idea d'en Jordi Mazón, dono a conèixer el fenomen "Flash Heat" que és el que es desenvolupa en aquest buit espacial i temporal i que serà l'objecte d'aquest TFC.

Així que la finalitat principal d'aquest treball és, a partir de l'anàlisi d'un cas real, donar una mostra de l'existència d'aquest fenomen meteorològic que defineix el cas de la pujada de la temperatura ambiental fins a quotes anormalment elevades durant un període temps inferior a 2 dies. Afectant a un espai de terreny comprès entre els que abastarien una onada de calor i un *heat burst*. Per aquest motiu s'explicarà detalladament quines característiques té un flash heat, per tal de diferenciar-lo de l'onada de calor i del *heat burst*, i quines són les causes que el poden provocar.

La segona finalitat important del treball és explicar quina relació pot tenir un flash heat amb l'aeronàutica. Per això s'analitzarà els possibles efectes que poden portar les variacions de les condicions ambientals en els diferents tipus d'aeronaus que puguin sobrevolar una zona afectada per un Flash Heat. Ja que això comportaria uns canvis molt ràpids de temperatura, pressió, densitat, humitat i altres paràmetres que poden afectar negativament a la sustentació i a les operacions de vol de les aeronaus.

El treball constarà de dos blocs:

El primer bloc que tractarà d'explicar des de un punt de vista meteorològic totes les característiques d'un Flash Heat es dividirà en 3 capítols:

- A. Al primer capítol es definirà de manera concreta que és un Flash Heat, es diferenciarà el Flash Heat de l'onada de calor i del *heat burst* i s'analitzarà les causes que poden provocar una pujada de temperatura tan important en tan poc temps.
- B. Al segon capítol s'analitzaran les dades meteorològiques de la ciutat de Heraklion (capital de Creta) entre les dates del 22 i el 23 de març del 2008, ja que és quan es produeix el Flash Heat que s'estudiarà com a mostra.
- C. Al tercer capítol s'analitzarà la simulació numèrica de l'episodi de Flash Heat succeït a Creta per tal de poder analitzar les variacions de les condicions atmosfèriques que es produeixen durant el fenomen.

El segon bloc, on s'analitzarà la repercussió que pot tenir un Flash Heat en el món de l'aeronàutica tindrà 1 capítol més:

- D. En aquest capítol s'analitzarà de forma teòrica quina influència pot tenir una variació sobtada de paràmetres bàsics com la densitat, temperatura, la pressió, la força del vent o la cisalla del vent en les actuacions dels diferents tipus d'aeronaus. S'estudiarà com varien en conseqüència els paràmetres claus com la sustentació i la resistència i com afecta a les principals operacions de vol com l'aterratge i l'enlairament de les aeronaus. I s'aplicarà tots aquets coneixements per definir els efectes que podrien patir diferents tipus d'aeronaus en sobrevolar una zona afectada per un flash heat.

CAPÍTOL 1. FLASH HEAT

1.1 Què és un flash heat?

En estudis previs desenvolupats pel professor Jordi Mazón, s'ha detectat episodis de pujada de temperatura per sobre de la temperatura mitjana en més de 5°C però en una escala temporal inferior a 2 dies consecutius; efectivament, aquests episodis estudiats tenen una durada inferior a 24 hores. Per aquesta raó, no es poden definir com a onades de calor, ni com a *heat burst*, sinó que la proposta de flash heat és més apropiada, com es veurà més endavant. Per les seves característiques es pot confondre amb una onada de calor o amb un *heat burst*. Però la veritat és que té unes característiques intermèdies entre aquests dos fenòmens. Per tant, per tal d'entendre bé que és un flash heat primer s'explicarà què són aquests dos fenòmens als qui s'assembla.

1.1.1. Onada de calor

En essència una onada de calor és un fenomen d'escala sinòptica (que abasta superfícies d'entre centenars i milers de quilòmetres quadrats) amb temperatures anormalment altes durant un període seguit de dies. Justament en especificar el valor de les temperatures i el número dels dies és on es troba una peculiaritat. Existeixen múltiples definicions d'onda de calor en funció de la font consultada amb respecte a aquests dos aspectes.

Segons l'Organització Meteorològica Mundial (WMO) una onada de calor és un fenomen on la temperatura diària màxima és inusualment alta durant almenys 2 o 3 dies.

<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opags/opag4/et4.1/documents/EWSforhealth.pdf>

Segons el glossari de meteorologia de la American Meteorological Society una onada de calor és un període de temps anormalment calorós i sovint humit que de forma convencional té una durada mínima de dos dies fins a diverses setmanes. http://glossary.ametsoc.org/wiki/Heat_wave

Fixant-nos en Europa, als Països Baixos, a Bèlgica i a Luxemburg trobem que una onada de calor és un període d'almenys 5 dies consecutius en què la temperatura màxima excedeix els 25°C, amb almenys 3 dies amb temperatures de més de 30°C.

Centrant-nos en Espanya, l'Agència Estatal de Meteorologia defineix una onada de calor com un període d'almenys 3 dies amb temperatures ambientals superiors als 32,2°C.

<http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2012/08/09/las-protagonistas-de-la-meteorologia-veraniega-las-olas-de-calor/>

I finalment focalitzant a Catalunya, el Servei Meteorològic de Catalunya defineix una onada de calor com un període on la temperatura és superior al percentil 98 de la temperatura màxima diària durant 3 dies consecutius o més.

<http://www20.gencat.cat/portal/site/meteocat/menuitem.e69beb057e68ee6c5c121577b0c0e1a0/?vgnnextoid=209c462b4fb68310VgnVCM1000008d0c1e0aRCR>

D&vgnnextchannel=209c462b4fb68310VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default

Com es pot comprovar la definició té variacions en els valors de temperatura i en la durada del succés en funció del servei meteorològic consultat. Però en general es pot dir que per parlar amb fermesa d'onada de calor és necessari com a mínim 2 dies consecutius de temperatures anormalment altes. I el llinar d'aquestes altes temperatures dependrà de l'època de l'any o de la zona geogràfica.

A la península Ibérica les onades de calor es formen per invasió de masses d'aire calent procedents de la regió del Sàhara o bé per permanència prolongada d'una d'aquestes masses en una determinada zona. Aquestes situacions acostumen a acabar amb l'arribada de masses d'aire fred (fronts freds) que donen lloc a situacions d'inestabilitat i tempestes.

Les onades de calor provoquen una gran pèrdua d'aigua per evaporació a les plantes, cosa que pot portar riscos d'incendis forestals. Les elevades temperatures també poden ser perjudicials per l'agricultura, la salut dels humans i la dels animals.

http://www.rinamed.net/es/es_ris_clim_calor.htm

1.1.2. *Heat burst*

Segons el glossari de la American Meteorological Society un *heat burst* és un estrany fenomen meteorològic d'escala local o microescala que es caracteritza per fortes ràfegues de vent i un ràpid increment de la temperatura i disminució important de la humitat, ocorregut típicament durant la nit i està associat a les finalitzacions de les tempestes. Tot això amb una durada d'uns quants minuts i afectant a pocs quilòmetres de superfície de terreny. El salt de temperatura pot ser tan extrem que els qui el pateixen diuen que és com si hi hagués un raig d'aire calent que va escalfant l'entorn.

http://glossary.ametsoc.org/wiki/Heat_burst

Tot i que el *heat burst* encara s'està estudiant hi ha la hipòtesi segons la qual es forma quan en finalitzar una tempesta a es crea una espècie de bombolla d'aire molt fred i sec, fet que fa que aquest aire sigui més dens que el del voltant i que caigui ràpidament guanyant temperatura com a conseqüència de la compressió adiabàtica (0,98°C/100 metres). Finalment aquesta bombolla d'aire descendent colpeja el terra i s'estén horitzontalment en totes direccions, el que resulta en un ràpid augment de la velocitat del vent que, per les propietats que tenia quan era bombolla d'aire, fa augmentar la temperatura de la zona on cau i disminueix la humitat.. Aquests canvis es produeixen de forma molt ràpida però breu. Després de uns quants minuts es recuperen els valors atmosfèrics anteriors.

http://www.crh.noaa.gov/news/display_cmsstory.php?wfo=ind&storyid=70360&source=0

Les temperatures oficials registrades durant un *heat burst* han augmentat fins a més de 32°C, a vegades pujant 11 graus o més en els pocs minuts que dura. També s'han documentat casos en que s'ha arribat a superar els 49°C. Però aquests valors no han estat mai verificats oficialment, per tant no es poden considerar com a vàlids.

http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_burst

Com a exemple de *heat burst*, el matí del 3 de maig del 2012 a Iowa la xarxa meteorològica Mesonet va registrar un fet curiós. A Bussey, una localitat de Iowa, es va detectar un canvi sobtat de temperatura. Entre les 8 del matí i les 10 del matí la temperatura va pujar a fins a valors elevats i després va tornar a baixar. En aquesta estona els termòmetres van passar de marcar 23,3°C a 29,4°C i la temperatura de rosada va baixar de 22,8°C a 12,2°C. L'estació meteorològica de Bussey també va detectar un canvi sobtat en les ràfegues de vent, passant de vents del voltant de 24 km/h a 96,56 km/h cap a les 8 del matí.

<http://www.kcci.com/weather/Rare-heat-burst-just-occurred-in-iowa/-/9358602/12537222/-/2misjxz/-/index.html>

Un altre exemple més acusat de *heat burst* és el que es va viure també a Iowa el 23 d'agost del 2011. En concret a un poblet anomenat Bryton la policia va informar al servei nacional de meteorologia d'Estats Units d'un salt de temperatura de més de 20 graus. En qüestió de minuts es va passar de 24,4°C a 35,5°C. Un salt de temperatura bastant excepcional en tant poc temps.

<http://www.kcci.com/Hundreds-Caught-Off-Guard-By-Rare-Phenomenon/-/9357770/7312022/-/wiidh/-/index.html>

1.1.3. Definició de flash heat

Finalment, un cop és té clar què és una onada de calor i què és un *heat burst* ja és pot definir què és un flash heat sense portar a confusions.

Un flash heat seria un fenomen meteorològic, d'escala temporal i espacial intermèdia entre onada de calor (mesoescala) i *heat burst* (microescala), on hi ha un increment de temperatura i una disminució de la humitat produïda per una ràpida advecció d'aire molt calent i sec. Aquest fenomen té una durada superior a la d'un *heat burst*, però inferior a una onada de calor. I abasta una superfície superior a la d'un *heat burst* però inferior a la d'una onada de calor.

A continuació es mostra una taula on es veuen les principals diferències entre els tres fenòmens comentats anteriorment.

Taula 1.1. Diferències entre onada de calor, *heat burst* i flash heat

	Escala temporal	Escala espacial	Causa
Onada de calor	De 2 dies a varies setmanes	Meso α (de 200 a 2000 km)	Dinàmica atmosfèrica
<i>Heat burst</i>	Uns quants minuts	Micro β , γ (menys de 2km)	Tempestes
Flash heat	Entre 1 i 24 hores	Meso β , γ (de 20 a	Efecte Foehn i

		200km)	dinàmica atmosfèrica
--	--	--------	-------------------------

Per poder parlar de flash heat d'una forma més precisa es farà servir una primera definició proposada pel meteoròleg Jordi Mazón. La definició segueix la següent condició:

“Per poder parlar de flash heat la temperatura 12 hores abans i 12 hores després de la temperatura màxima registrada no excedirà el percentil 60 de la temperatura màxima mitjana.”

$$(T_{12} < p60\overline{T_{\max}})$$

Partint d'aquesta idea per fer una primera identificació d'un flash heat també es poden tenir en compte les següents condicions:

a) La temperatura màxima diària (Tmax) supera en almenys 5°C a la temperatura absoluta màxima mitjana del mes considerat en el període entre el 1960 i el 1990. Aquest criteri segueix la definició d'onada de calor de la organització mundial de meteorologia (WMO).

b) La temperatura 24 hores abans i 24 hores després de la temperatura màxima registrada no superi a la temperatura absoluta màxima mitjana del mes considerat. Aquest criteri assegura que la temperatura màxima del dia abans i del dia després romangui dintre d'un rang de valors mitjans. Cosa que allunya al fenomen de confondre'l amb una onada de calor.

1.2 Causes del Flash heat

Les variacions de calor i humitat que comporta un flash heat poden ser produïdes per diferents situacions en funció de la zona geogràfica. Però principalment és produït per dues causes, l'efecte foehn i la dinàmica atmosfèrica. A continuació s'explica amb més detall aquestes dues situacions meteorològiques.

1.2.1. Efecte foehn

L'origen semàntic del terme Foehn, o Föhn, es troba a les valls alpines. Així es coneix en aquestes muntanyes al vent que produeix el fenomen que es descriu a continuació.

L'efecte Foehn, o Fogony en algunes zones del Pirineu, és un fenomen d'escala local que té lloc a les valls de les muntanyes, a la zona de sotavent, i que provoca una pujada sobtada i anormal de la temperatura i una baixada en

picat fins a nivells baixíssim (fins al 10%) de la humitat relativa en el fons de la vall.

Aquests canvis atmosfèrics es produeixen quan hi ha una massa d'aire relativament humida i càlida que es veu forçada a ascendir l'orografia de les muntanyes per continuar avançant en la seva direcció. Pel camí d'ascens la massa d'aire humida es refreda seguint el gradient adiabàtic sec que és de $0,984^{\circ}\text{C}$ cada 100 metres, aproximadament 1°C cada 100 metres.

Si a causa de la disminució de la temperatura s'arriba a la temperatura de rosada l'aire es satura i el vapor d'aigua que hi porta es condensa en forma de núvols, boira i pluja. A partir d'aquest punt la disminució de la temperatura passa a seguir el gradient adiabàtic humit que és de uns $0,5^{\circ}\text{C}$ cada 100 metres. Per tant fins a arribar al cim la massa d'aire es refreda però a menys velocitat, mentrestant va perdent humitat.

Un cop passat el cim, en el descens pel vessant de sotavent, la massa d'aire que ha perdut gairebé tota la seva humitat comença a escalfar-se degut a la compressió adiabàtica. En aquest procés l'aire torna a variar la temperatura seguint el gradient adiabàtic sec. Per tant guanyant 1°C cada 100 metres de descens. D'aquesta manera la massa d'aire arribarà al peu de la muntanya amb temperatures més elevades que les que portava inicialment i amb nivells de humitat molt inferiors.

Per explicar millor en que consisteix aquest fenomen s'analitzarà la figura 1.1.

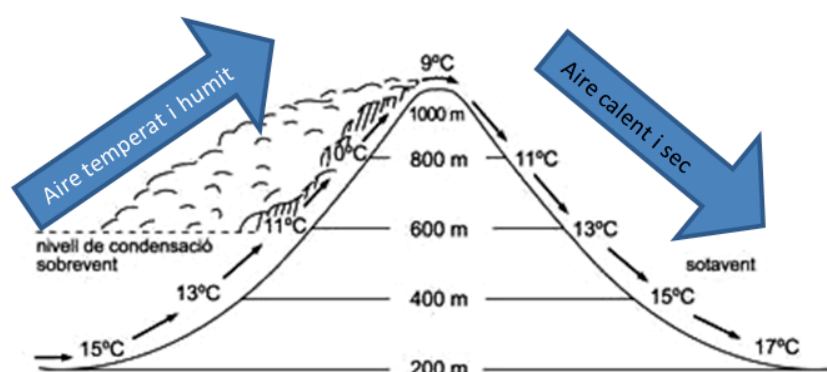


Fig. 1.1 Muntanya on es produeix l'efecte foehn

Com es veu a la imatge al peu de la muntanya està arribant aire a 15°C . Aquest aire és humit, ja que l'efecte Föhn va sempre associat a un flux de vent humit que es dirigeix cap a la vessant de sobrevent d'una muntanya. Després d'arribar a la vessant de sobrevent aquest flux es veu forçat a ascendir. En aquest punt el gradient adiabàtic sec, la raó de refredament de l'aire no saturat en funció de l'alçada, és de $0,984^{\circ}\text{C}$ (aproximadament 1°C) cada 100 metres, i per tant, la massa d'aire que a 200 metres d'alçada tenia 15°C en arribar a 600 metres s'haurà refredat aproximadament fins als 11°C .

Suposant que precisament en aquest punt s'aconsegueixen les condicions necessàries de pressió i temperatura perquè es produeixi la saturació de l'aire i la condensació de la humitat continguda, es formarà boira o núvols que fins i tot

poden portar precipitacions. D'aquesta manera la massa d'aire s'ha convertit en una massa d'aire saturat i això implica que canviï el gradient de refredament. A partir del punt de condensació el gradient de refredament serà el gradient adiabàtic humit, aproximadament 0,5 °C cada 100 metres. Així la massa d'aire seguirà ascendint fins al cim de la muntanya però ja no es refredarà amb tanta velocitat.

En arribar al cim a 1.000 metres d'alçada i començar el descens per l'altre vessant s'atura el procés de condensació. Per tant, ja no es tracta d'una massa d'aire saturat sinó que és una massa d'aire seca i no saturada (ha deixat la seva càrrega d'humitat a la zona de condensació). Així que la temperatura tornarà a variar amb el gradient adiabàtic sec, augmentant 1°C cada 100 metres la seva temperatura en descendir pel vessant de sotavent cap a la vall. Per això la seva temperatura s'eleva fins als 17 °C en arribar, ja al fons de la vall, a la mateixa altitud que tenia a la base de la muntanya a sobrent (200 metres). El resultat d'aquest procés és que en el tram d'ascens i descens de la muntanya la massa d'aire s'ha escalfat 2 °C i ha perdut la seva càrrega d'humitat.

Aquest esquema proposat és en la realitat molt més complex i les diferències de temperatura són molt més acusades. En alguns punts del Pirineu, en concret en valls com la de la Noguera Pallaresa, quan bufa el vent del nord, el Vent del Port, la temperatura pot arribar a pujar 10 °C en poques hores i la humitat cau fins a valors baixíssims en el mateix espai de temps.

I com a resultat del procés explicat es pot produir un flash heat. Tal i com va passar en el cas del flash heat que s'estudiarà en aquest treball.

Fuente: Revista "The Gryffin" [www.thegryffin.com] Autor: Florenci Rey

http://www.montanapegaso.com/efecto_foehn/efecto_foehn.htm

<http://efectofoenuc.blogspot.com.es/>

1.2.2. Dinàmica atmosfèrica

Gràcies a la desigual distribució de la radiació solar que arriba als pols i a l'equador, al voltant de la Terra apareixen zones d'alta i baixa pressió. Això afavoreix la formació de diferents masses d'aire amb diferents temperatures i humitats. Aquestes masses d'aire no són estàtiques sinó que experimenten desplaçaments tan horitzontals com verticals, donant lloc a la dinàmica atmosfèrica. Per tant la dinàmica atmosfèrica es basa en la presència i evolució de les masses d'aire, la interacció de les quals amb la superfície de la Terra és la responsable dels fenòmens atmosfèrics que es produeixen a la baixa troposfera.

Les característiques de les masses d'aire depenen en gran mesura de la regió d'origen. Per exemple, algunes de les masses d'aire que arriben al sud de la península ibèrica en l'època estival són masses d'aire molt càlides i amb poca humitat ja que s'han format a la zona del desert del Sàhara. Aquestes masses d'aire són les responsables de les onades de calor que acostuma a patir el sud

d'Espanya. Per contra, les masses d'aire que arriben pel nord de la península acostumen a ser més fredes.

<http://www.slideshare.net/codos/la-dinmica-atmosfrica>

Com s'ha comentat anteriorment, de la mateixa manera que una massa d'aire calenta pot provocar una onada de calor també pot provocar un flash heat. Si una massa d'aire calenta i seca per qüestions de dinàmica atmosfèrica durant un dia abastes una zona i a l'endemà es retirés es podrien donar les condicions perquè es produís un flash heat

Un exemple d'un flash heat d'aquest tipus és el que es va produir a la zona de Barcelona el 27 d'agost del 2010. La figura 1.2 mostra la temperatura de l'aire a 850 hPa d'altura geopotencial.

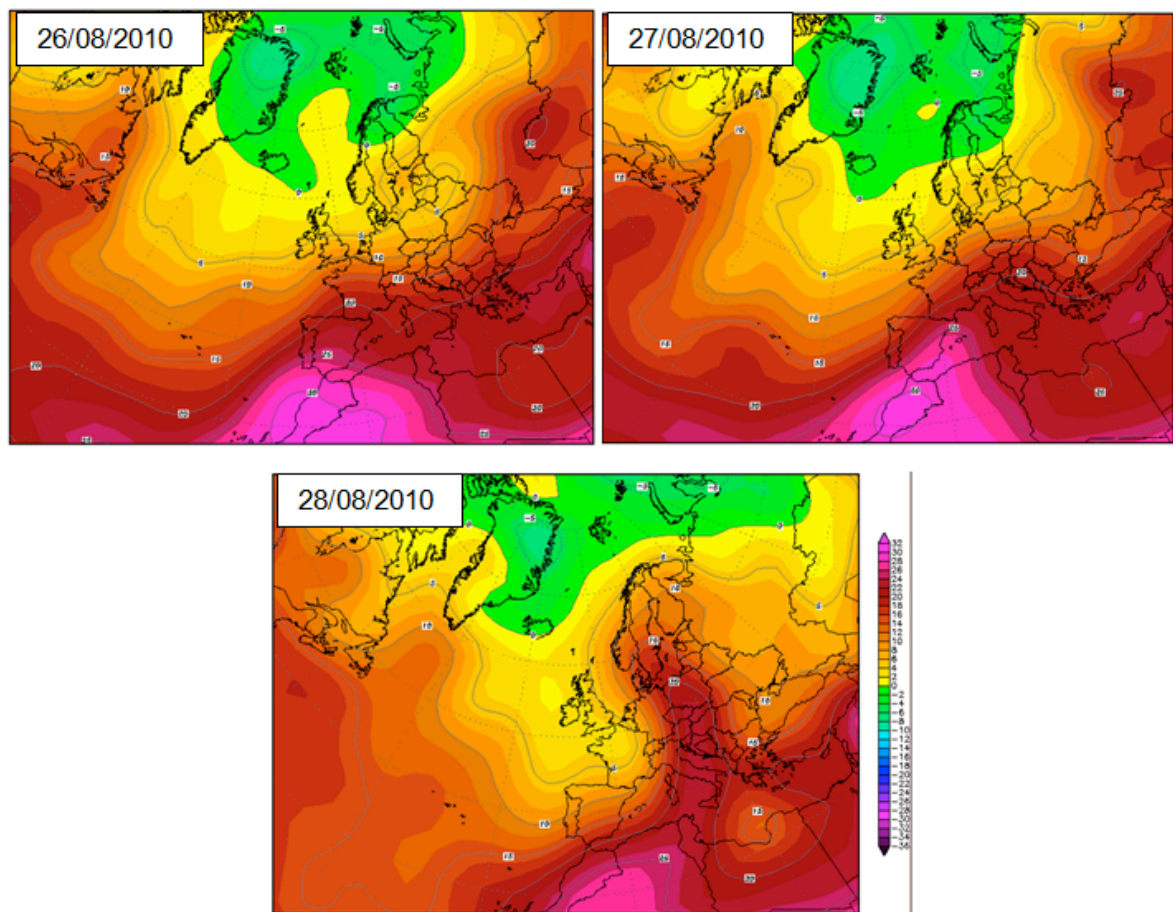


Fig. 1.2 Situació de la temperatura amb codi de colors a 850 hPa els dies 26, 27 i 28 d'agost del 2010 a les 00 UTC

Com es pot veure a la figura 1.2 el 26 d'agost hi havia una massa d'aire càlid que arribava al sud de la península Ibèrica procedent de l'Àfrica. Segons el codi de color la massa d'aire càlid de color rosa té una temperatura superior als 30°C. A la zona de Barcelona la temperatura aquest dia era d'entre 12 i 14°C. El dia 27 la massa d'aire calenta ascendeix fins a tocar Barcelona, fent que la temperatura a la ciutat superi els 30°C. I a l'endemà la massa d'aire calenta ja s'ha enretirat cap a l'est gràcies a l'entrada d'aire fred procedent del nord-oest

de la península. Aquest dia la temperatura a Barcelona ha tornat a baixar cap els 14°C. Aquesta és una situació que va donar un flash heat a Barcelona.

Continuant amb aquest exemple a la figura 1.3 es mostren dues gràfiques. A la gràfica “a” es mostra l’evolució de la temperatura i de la humitat i a la gràfica “b” es mostra l’evolució de la velocitat i la direcció del vent el dia del probable flash heat de Barcelona. A les gràfiques es reflexa amb símbols pintats totalment les dades reals procedents de l’observatori Barcelona Fabra i amb una línia i símbols amb el centre sense pintar les dades de la simulació obtinguda amb l’entorn MM5 (més endavant s’explicarà que és el MM5).

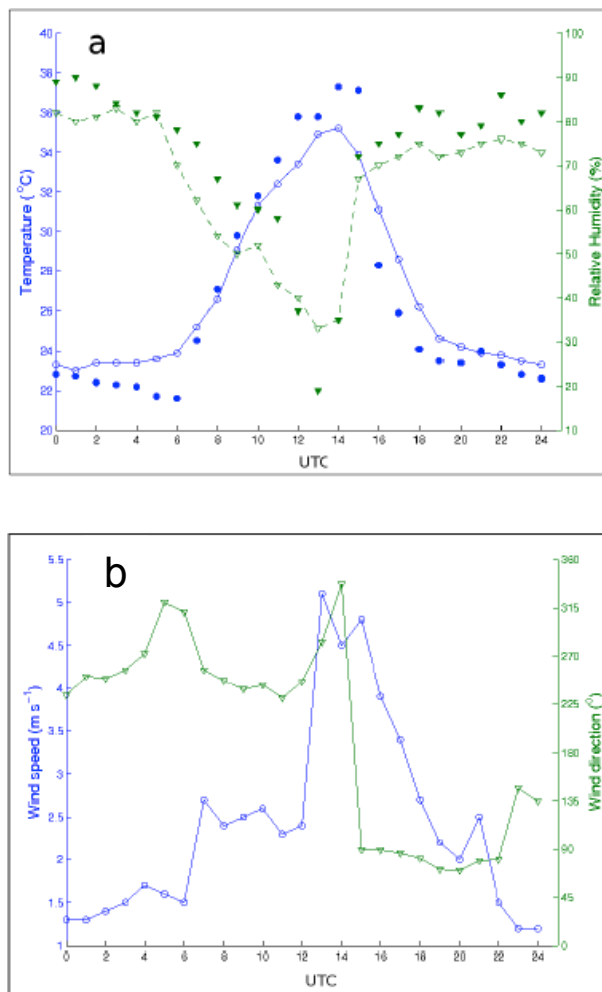


Fig. 1.3 (a) Evolució temporal de les dades recollides al observatori Barcelona Fabra (420 metres sobre el nivell del mar) (símbols tot pintats) i de les dades de la simulació fetes amb el programa MM5 (línia i símbols amb el centre blanc) de la temperatura (color blau) i la humitat relativa (color verd) el 27/08/2010. (b) Evolució temporal de la velocitat (color blau) i la direcció del vent (color verd) el mateix dia.

Com es pot observar al gràfic 1.3.a el dia del flash heat la temperatura augmenta fins arribar a més de 30°C. Tornant a valors mes normals en acabar el dia. De la mateixa manera la humitat varia però de forma inversa. Per tant a

mesura que avança el flash heat la humitat baixa fins nivells molt baixos per tornar a nivells “normals” en acabar el fenomen.

Per altre banda la figura 1.3 (b) mostra com abans de les 15 UTC bufava vent de l'oest que portava l'aire calent i sec que hi havia a l'interior de la península Ibèrica. Però passades les 15 UTC hi ha un canvi en la direcció del vent, d'oest a est. Aquest canvi de vent és el que provoca que aparegui aire del Mediterrani que és més fresc i humit que desplaça l'aire que hi havia a Barcelona, fent que la temperatura i la humitat tornin a valors normals. També s'observa que en les hores de més calor és en les hores on el vent bufa amb més força.

1.3 Impactes d'un flash heat a nivell general

L'excés de calor pot produir danys en la salut humana, les activitats econòmiques i en l'entorn. A part té altres conseqüències secundaries com que es consumeix més energia elèctrica a causa de la utilització dels sistemes de refrigeració.

Sobre la salut humana, sobre tot en les persones més vulnerables com són nens petits, gent gran o malalts crònics, pot portar a risc de hipertèrmies. Els efectes d'aquestes hipertèrmies poden ser des de simples dolors musculars, esgotament, deshidratació o insomni en el cas de hipertèrmies poc fortes fins a la mort en cas de hipertèrmies molt greus, també anomenades cops de calor.

Sobre els danys en l'entorn s'ha de tenir en compte que la majoria dels incendis estan produïts per una combinació d'altres temperatures i baixa humitat, ja que això ajuda a assecar la vegetació fent-la més inflamable. En conseqüència els episodis de flash heat són un dels riscos més grans d'activació d'incendi ja que justament tenen aquestes característiques.

http://www.ecured.cu/index.php/Ola_de_calor

Sobre les activitats econòmiques probablement el sector més afectat és el sector agrícola. A la majoria de les plantacions els excessos de calor els perjudica. I dintre d'aquest sector una de les plantacions més perjudicades són les vinyes. En el flash heat del 27 d'agost del 2010 varies regions del nord-est de la península Ibèrica van perdre més del 20% de la producció de raïm en menys de 8 hores a causa d'aquest fenomen. El raïm és molt sensible als increments sobtats de temperatura i a les baixades de humitat, ja que perden molta de la aigua interna del fruit. Durant una onada de calor la temperatura i la humitat canvien a poc a poc i en molts casos aquest canvi lent permet prendre mesures com regar les vinyes per reduir l'impacte que l'onada de calor podria tenir. En canvi durant un flash heat el raïm es seca en poques hores sense tenir opció de previsió i poc temps de marge per reaccionar ja que un flash heat és molt complicat de preveure.

CAPÍTOL 2. ANÀLISI D'UN EXEMPLE D'EPISODI DE FLASH HEAT

En aquest capítol s'analitzarà un probable episodi de flash heat que va ocórrer entre el 22 i el 23 de març del 2008. Aquest anàlisi es durà a terme mitjançant l'observació de mapes tèrmics a una alçada geopotencial de 850hPa a l'apartat 2.2 i mitjançant l'estudi de dades meteorològiques proporcionades per la agència meteorològica de Grècia en l'apartat 2.3. Aquestes dades es passaran a gràfiques lineals per tal de poder fer un anàlisi més visual.

2.1. Episodi del 22 al 23 de març a Heraklion

L'illa de Creta té un clima mediterrani moderat caracteritzat per hiverns afables i plujosos i estius calorosos i secs. Degut a la seva orografia amb una cadena muntanyosa que travessa l'illa d'est a oest es produeixen canvis significatius en el temps al nord i al sud de l'illa, ja que les muntanyes fan de barrera pels aires càlids i secs provinents de l'Àfrica i pels aires més freds i humits provinents del nord. Això resulta en que el temps al nord de l'illa pot ser ennuvolat i plujós mentre que al sud és més assolellat i sec. També hi ha petites diferències entre l'est i l'oest, on a l'est l'ambient és més sec i càlid.

http://www.tourism-crete.com/web/es/creta/clima_meteo.html

En aquest context, el dia 22 de març del 2008 una massa d'aire molt calenta i seca s'apropa a l'illa pel sud i per l'est de Creta procedent del nord-est d'Àfrica. Entre el dia 22 i el 23 aquesta massa d'aire calenta avança cap el nord envoltant a Creta i a es retira de nou varies hores després. Aquest fet de dinàmica atmosfèrica sumat a un escalfament adiabàtic provocat per descensos violents d'aire de les capes mitjanes de la troposfera, causats per ones de muntanya generades per la pròpia illa, van produir al flash heat que es pretén estudiar. Que va ser més espectacular pel fet que la pujada de la temperatura es va produir durant la nit entre el 22 i el 23 de març, arribant a la temperatura màxima de casi 32°C cap a les 9 del matí del dia 23. Temperatura molt elevada tenint en compte tant l'hora com l'època de l'any i que contrasta amb uns valors inferior als 17°C a la cara sud de l'illa, a menys de 30 km en línia recta.

2.2. Situació sinòptica

La figura 2.1 mostra els mapes de superfície que proporciona la plataforma NCEP Reanalysis, on es pot veure amb isotermes i codi de colors com evoluciona la temperatura a una alçada geopotencial de 500 hPa i a una alçada de 850hPa, es pot veure que a les 00 UTC del dia 22 de març a l'alçada de 850 hPa (uns 1500 metres) hi ha una massa d'aire calent pròxima a Creta que ve de l'Àfrica. En aquest moment l'illa es troba entre les isotermes de 10°C i 15°C. A nivell de terra aquesta temperatura seria lleugerament superior.

A les 00 UTC del dia 23 es pot veure que la massa d'aire calent i sec (de color vermell) ja està sobre la illa. En aquest moment a la costa nord de Creta es situa la isoterma de 20°C.

I ja analitzant el mapa de les 00 UTC del dia 24 es pot veure com la massa d'aire calenta ha perdut força i s'ha anat degradant, situant la zona més calenta a l'interior de l'Àfrica. En aquest moment l'illa de Creta torna a estar entre les isotermes de 10°C i 15°C.

La situació explicada és la que es mostra en els següents mapes de superfície de la figura 2.1. S'ha encerclat l'illa de Creta perquè es centri la mirada en el punt estudiat.

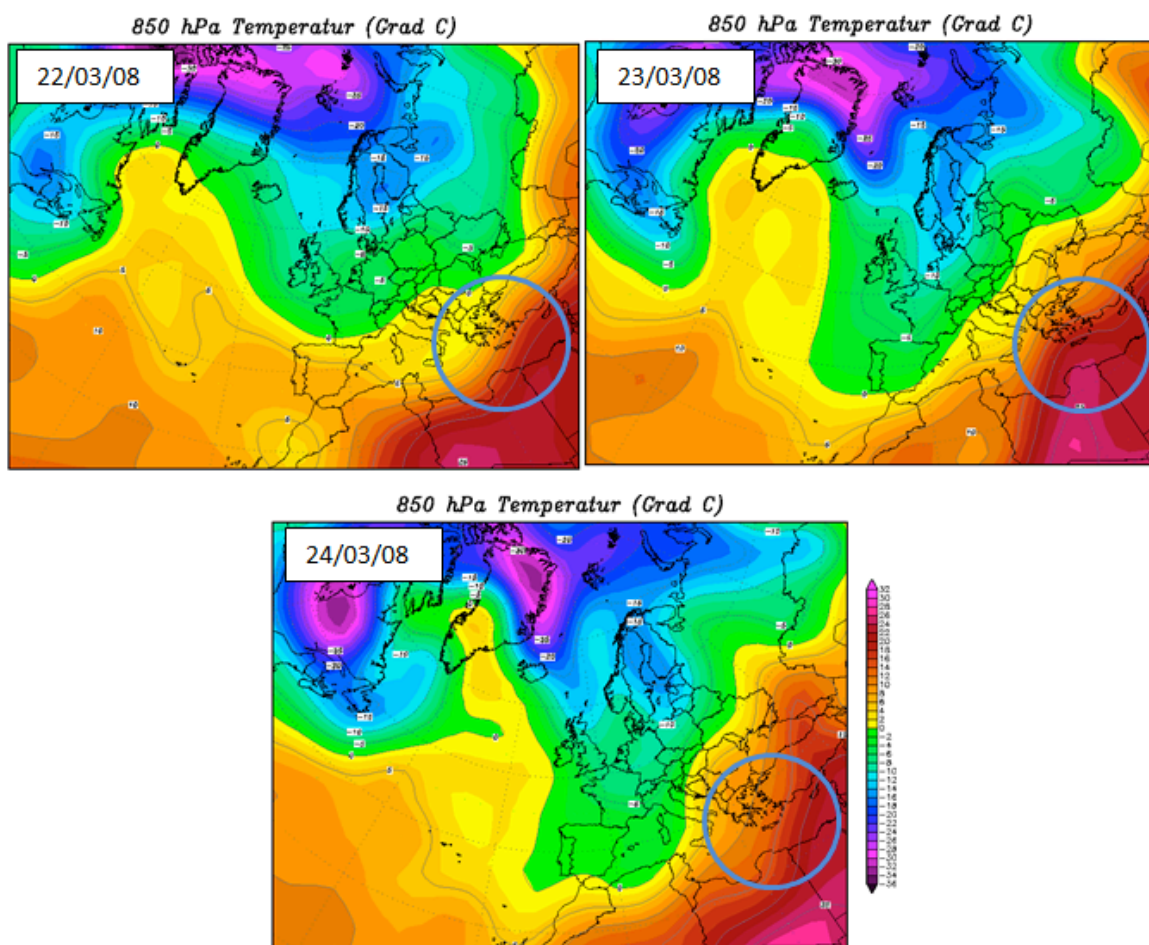


Fig. 2.1 Situació de la temperatura amb codi de colors a 850 hPa els dies 22, 23 i 24 de març del 2008 a les 00 UTC

2.3 Anàlisi de les dades superficials de Heraklion

Tenint en compte la curta durada d'un flash heat per fer un anàlisi acurat de com evoluciona la situació atmosfèrica de Heraklion faria falta obtenir les mesures captades per l'estació meteorològica amb una freqüència elevada, d'almenys una cada hora. Però aquest fet no ha estat possible ja que l'agència

meteorològica de Grècia no ha pogut proporcionar les dades amb la freqüència requerida, sinó que les ha enviat amb una freqüència d'una mesura cada tres hores. Aquest fet provoca que es perdi informació que pugui ser important (com valors màxims i mínims absoluts) però al menys sí que permet fer un anàlisi general de l'episodi de flash heat.

Les sèries de dades proporcionades s'han passat a gràfics lineals per tal de poder fer una interpretació més visual. I s'ha optat per mostrar sempre la línia de la temperatura perquè es tingui la referència de l'evolució del flash heat.

A l'eix de les abscisses es mostra el pas del temps des de les 00 UTC del dia 22 de març fins les 24 UTC del dia 23 del mateix mes. I a l'eix de les ordenades es mostra els valors dels diferents paràmetres a analitzar (temperatura, humitat, pressió, etc.).

2.3.1. Relació temperatura-humitat

Començant l'anàlisi per la relació entre la temperatura i la humitat, els trets característics d'un flash heat, es pot observar clarament com en augmentar la temperatura disminueix la humitat relativa i a l'inrevés, en baixar la temperatura la humitat torna a pujar.

L'evolució de la humitat i de la temperatura durant aquests dos dies es mostra en la figura 2.2.

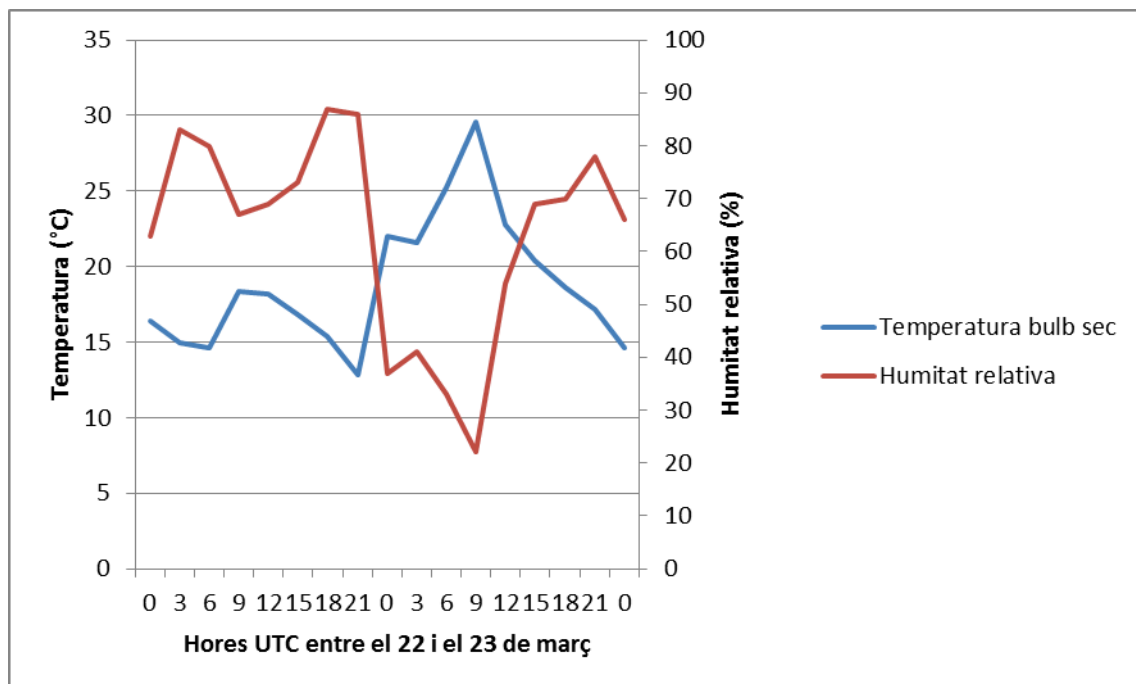


Fig. 2.2 Evolució de la temperatura i la humitat a Heraklion entre el 22 i el 23 de març del 2008

A les 09 UTC del 23 de març és l'hora on s'arriba al valor màxim de temperatura, 29,6°C. També és l'hora on es té el mínim valor de humitat relativa, 22%. Aquests dos valors són força extremats si es té en compte que la

temperatura màxima mitjana del mes de març és de 16,7°C i la humitat relativa mitjana d'aquest mes és del 66%. I són el resultat del fort efecte foehn que es produeix aquell dia.

L'altre fet a destacar és que durant el dia 22 la temperatura màxima a la que s'arriba (segons les dades disponibles) es dona a les 09 UTC i és de 18,4°C. I 24 hores més tard, també a les 09 UTC, la temperatura màxima es col·loca 10 graus per sobre.

Per últim s'ha de tenir en compte que com conseqüència indirecta de la pujada de temperatura disminuirà la densitat. Ja que a major temperatura menor densitat de l'aire.

2.3.2. Relació temperatura-punt de rosada

En la mateixa línia que la humitat relativa es troben les dades del punt de rosada. El punt de rosada és la temperatura que hauria de tenir l'aire perquè el vapor d'aigua es condensi i es converteixi en boira o núvol. Segons les dades la temperatura de rosada també és mínima quan s'arriba a la temperatura màxima, que també és quan hi ha la humitat relativa més baixa. Tots aquests factors tenen relació ja que perquè el vapor d'aigua es satura és necessari que l'aire estigui molt carregat de humitat. I això acostuma a passar a baixes temperatures que és quan l'aire té menys capacitat d'absorció de vapor d'aigua.

L'evolució del punt de rosada i de la temperatura es mostra a la figura 2.3.

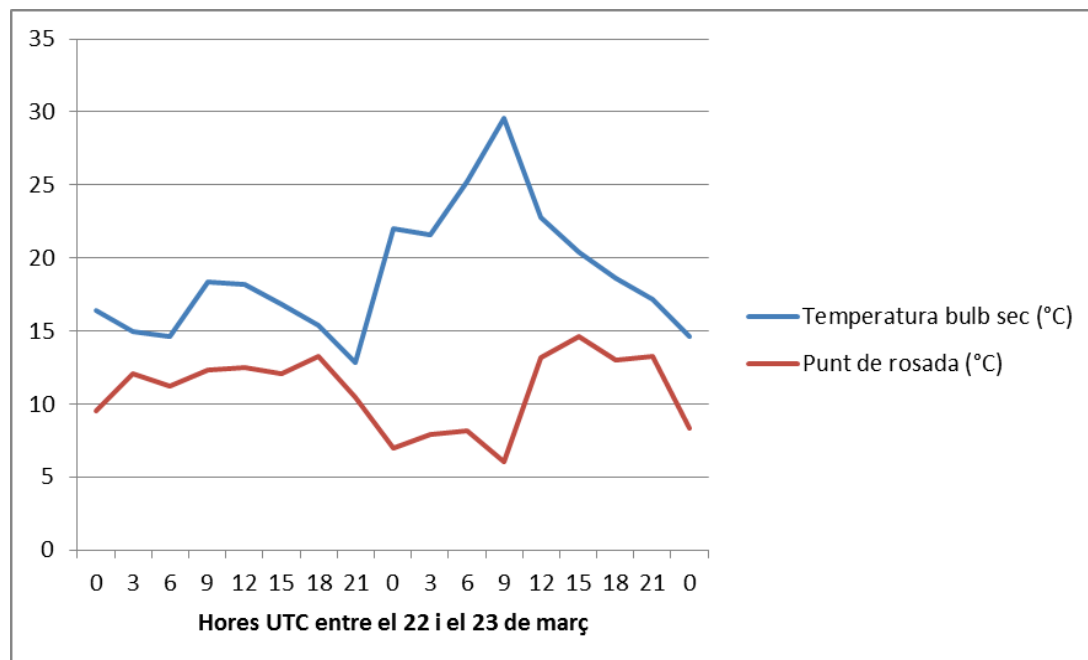


Fig. 2.3 Evolució de la temperatura i el punt de rosada a Heraklion entre el 22 i el 23 de març del 2008

Tal i com es veu al gràfic a les 21 UTC del dia 22 la temperatura de l'aire està molt pròxima a la de rosada, per tant falta poc perquè el vapor d'aigua es satura i es torni boira. Que és justament el moment en que es té el valor de humitat relativa més elevat. Després però el flash heat comença a actuar, la temperatura comença a pujar moltíssim i la humitat cau en picat acompanyada de la baixada de la temperatura de rosada.

2.3.3. Relació temperatura-densitat

En les dades proporcionades per l'agència meteorològica de Grècia no hi ha inclosa la variació de densitat durant el flash heat. Però es pot deduir com evoluciona observant la variació de la temperatura i de la pressió. Mentre que en avançar el flash heat la pressió va baixant la temperatura va augmentant. La combinació d'aquest dos paràmetres farà que la densitat disminueixi ja que a més temperatura menys densitat i a menys pressió també menys densitat.

Per aconseguir dades més concretes i fer el mateix tractament amb la densitat que amb els altres paràmetres s'ha fet servir la següent fórmula per calcular tots els valors de la densitat en les hores estudiades.

$$\rho_a = \frac{0.34848p - 0.009h_r \exp(0.061t)}{273.15 + t} \quad (2.1)$$

Les variables de la fórmula són:

- ρ_a : densitat de l'aire en kg/m³
- p : pressió baromètrica en hPa
- h_r : humitat relativa de l'aire en %
- t : temperatura de l'aire en °C

<http://www.cenam.mx/sm2010/info/pmiercoles/sm2010-mp03a.pdf>

Analitzant les dades resultants es pot veure que la densitat segueix la tendència oposada a la temperatura. En els moments en que la temperatura puja la densitat baixa i en els moments que baixa la densitat puja. D'aquesta manera durant el flash heat la densitat baixa fins a arribar a ser de 1,145 kg/m³ a les 09 UTC del dia 23. Valor que correspondria a una altura densitat de gairebé 700 metres d'alçada en una zona que es troba a nivell del mar. Després la densitat torna a valors més normals.

Per tenir una referència de la caiguda de densitat es pot mirar quin valor hi havia 24 hores abans i 24 hores després de l'hora citada. A la mateixa hora però un dia abans la densitat era de 1,196 kg/m³ i 24 hores després era de 1,191 kg/m³. Per tant es pot comprovar que el flash heat comporta una important baixada de densitat. Factor que com es veurà al apartat 4.2.1 és molt important pel sector aeronàutic.

2.3.4. Relació direcció-força del vent

Un altre factor important pel devenir del flash heat és el comportament del vent, tant per la banda de la direcció del vent com per la força. Tenint en compte que la massa d'aire calenta prové del nord-est d'Àfrica, al sud de Creta, és normal pensar que quan el vent tingui component sud (prop dels 180°) farà que pugi la temperatura de l'illa.

Així mateix ho indiquen les dades de l'estació meteorològica de Heraklion. A partir de les 21 UTC del dia 22 de març el vent que tenia component principalment de l'est comença a fer un canvi de direcció. En les hores següents comença a agafar component sud, cosa que provoca que arribi aire més calent i que la temperatura de Heraklion comenci a pujar. De fet a l'hora on s'arriba a la temperatura màxima es té un vent de 190°, vent pràcticament amb només component del sud. A partir d'aquest moment en avançar el fenomen el vent no segueix una evolució lineal però sí que tendeix a agafar cada cop més component d'oest i nord-oest. Cosa que comporta l'arribada d'aire més fred i humit i, per tant, la baixada de la temperatura fins a nivells normals de nou.

Al factor de la direcció del vent es suma la força del vent. Segons les dades en les hores en que la temperatura comença a pujar per la component sud del vent la força del vent també augmenta, passant d'uns 3 nusos a les 21 UTC del dia 22 fins a 24 nusos tres hores més tard. És un canvi bastant considerable que sumat al vent del sud ajuda a fer més evident l'efecte foehn que produeix la pujada de temperatura a la costa nord de l'illa.

En les hores següents la força del vent disminueix una mica, cosa que provoca que la temperatura deixi d'augmentar. Però després, cap a les 09 UTC del dia 23, la velocitat del vent torna augmentar fins arribar als 24 nusos novament. I això provoca una altre pujada de la temperatura fins al valor màxim de 29,6°C. Després la força del vent comença a disminuir juntament amb la tendència del vent de l'oest. I com s'ha dit anteriorment la temperatura en conseqüència baixa a nivells normals.

A la figura 2.4 es mostra com evoluciona la direcció i la força del vent que s'ha comentat anteriorment. Acompanyat d'un indicador de direcció del vent amb els seus graus corresponents. Al gràfic es pot observar com els moments de màxima força de vent corresponen a vents amb procedència del sud. Que també corresponen als moments de màxima temperatura.

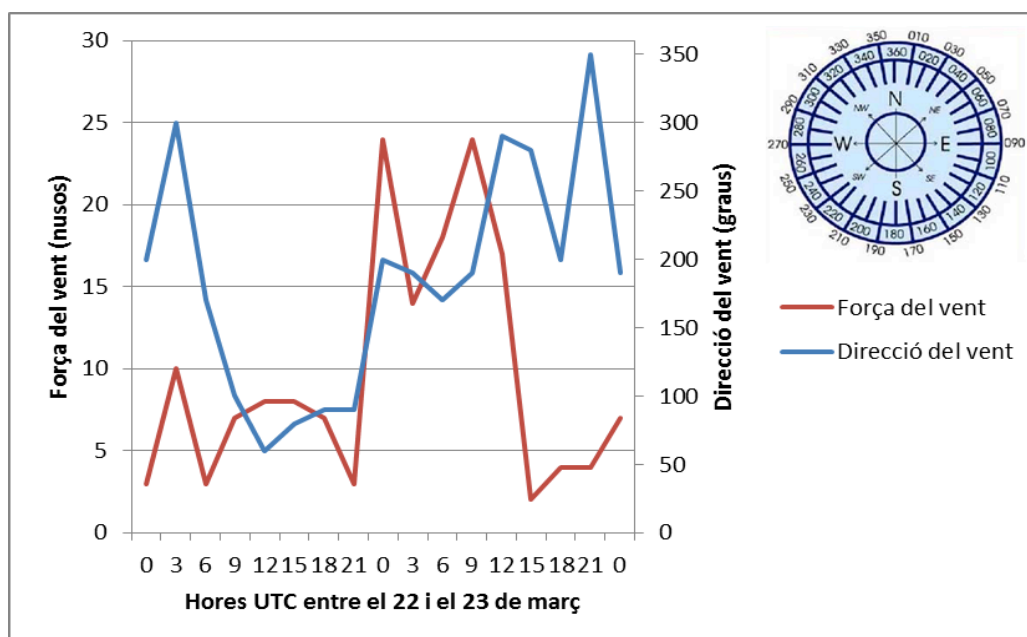


Fig. 2.4 Evolució de la força i la direcció del vent a Heraklion entre el 22 i el 23 de març del 2008

CAPÍTOL 3. ANÀLISI DE LA SIMULACIÓ NUMÈRICA

3.1 Model WRF

Per analitzar la dinàmica atmosfèrica que permet que hi hagi un canvi tan ràpid en humitat i en temperatura a la zona del flash heat s'ha fet servir una simulació numèrica mitjançant el model informàtic d'investigació i previsió del temps WRF (Wheather Research and Forecasting). Aquest model de nova generació és un sistema de predicció numèric de mesoscala dissenyat per oferir previsions operacionals i per estudiar l'atmosfera.

El model WRF que es va començar a desenvolupar a finals dels anys 90 ha estat desenvolupat per diferents organitzacions com la National Center for Atmospheric Research (NCAR), la National Oceanic and Atmospheric Administration, els National Centers for Environmental Prediction (NCEP), la Forecast Systems Laboratory (FSL), la Air Force Weather Agency (AFWA), la Naval Research Laboratory, la Oklahoma University i la Federal Aviation Administration (FAA).

El model ofereix una àmplia gamma d'aplicacions meteorològiques a través d'escales que van des de metres fins a milers de quilòmetres. En funcionament normal el WRF s'actualitza 4 cops al dia i ofereix previsions per 78 hores en trams de 1 hora. Les previsions inclouen velocitat, direcció i ràfegues de vent, temperatura, nuvolositat total i precipitacions.

Hi ha tres nivells de definició. El model a 12 km, el de 9 km i el de 3 km. L'últim, el de 3 km, és el que té més resolució però a la vegada aquesta alta resolució implica més càlculs a fer, per tant la zona abastada no pot ser molt extensa.

http://www.windguru.cz/es/help_index.php?sec=models

WRF permet als investigadors la capacitat de produir simulacions que reflecteixen tant les dades reals (observacions, anàlisi) com condicions atmosfèriques idealitzades. WRF ofereix predicció operativa amb una plataforma flexible i computacionalment eficient, alhora que ofereix avenços en l'aspecte de la física i en l'assimilació de dades numèriques. Avenços aportats per les moltes comunitats de recerca involucrades en el projecte.

El sistema WRF està actualment en ús operacional al NCEP, AFWA i altres centres.

<http://www.wrf-model.org/index.php>

3.2 Simulació numèrica

La simulació comença el 22 de març del 2008 a les 00 UTC i acaba el 24 de març del 2008 a les 12 UTC.

Amb la simulació es farà dos tipus d'anàlisi. El primer es farà amb un mapa de superfície de l'illa de Creta on es veu la temperatura marcada amb codi de colors i el camp de vent amb fletxes indicadores. I el segon anàlisi serà amb mapes representant seccions verticals de l'illa de la zona pròxima a Heraklion. En aquestes representacions es mostra la humitat amb línies isohumes, la temperatura amb franges de color i el camp de vent amb fletxes indicadores.

Hi ha tres tipus de talls verticals representats pels segments A-B, C-D i E-F tal i com es mostra a la figura 3.1

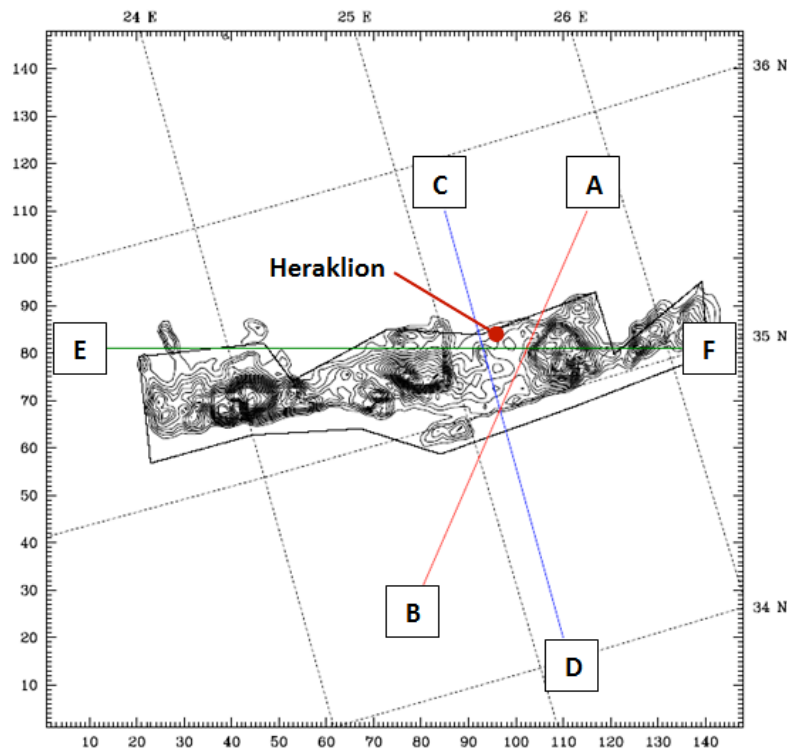


Fig. 3.1 Localització dels segments que marquen els talls verticals de la simulació numèrica

3.2.1 Primer anàlisi

A l'inici de la simulació es té la situació de la figura 3.2a. Com es veu la temperatura més alta a les 00 UTC del dia 22 de març es troba a l'est de l'illa i és de uns 18°C. A l'oest de l'illa la temperatura és més baixa, en alguns punts arriba als 12°C. I el vent bufa de l'oest provinent de zones més fredes que les que hi ha a l'est de Creta. Aquest és un factor molt important ja que en funció d'on vingui el vent farà pujar o baixar la temperatura de l'illa. Si és vent del nord o de l'oest les temperatures baixaran. En canvi si és del sud o l'est les temperatures pujaran.

Segons l'agència meteorològica de Grècia aquestes temperatures inicials rondan valors normals per l'època de l'any ja que, segons les seves dades

climatològiques, la temperatura normal en un mes de març a Heraklion es troba entre els 16,7°C i els 9,7°C.

http://www.hnms.gr/hnms/english/climatology/climatology_month_html?dr_month=03

En les hores següents a mesura que avança la matinada la temperatura va baixant, ajudada pel vent fred de l'oest, fins a les 05 UTC que és el moment més fred de la nit. En aquest moment casi tota l'illa es troba per sota els 12°C, tal com mostra la figura 3.2b.

A partir d'aquesta hora la temperatura comença a pujar a mesura que es va fent més de dia. Arribant a màxims de 23°C entre les 11 i les 12 UTC.

Entre les 12 i les 16 UTC hi ha un canvi important en la direcció del vent, canvia de sentit i comença a bufar de l'est. Aquest aire de l'est, més calent que el de l'oest, fa que la temperatura de l'illa i de les rodalies comenci a pujar. Al principi a poc a poc, però a mesura que passen les hores la pujada de temperatura comença a ser generalitzada i més ràpida. En concret a la cara nord de l'illa.

A les figures 3.2c, 3.2d, 3.2e i 3.2f es mostra una seqüència de com va augmentant la temperatura amb el pas de les hores. Com es veu a les figures a la línia costanera del nord de Creta en 12 hores la temperatura passa de 15°C a 27°C en alguns punts. El més destacable d'aquest canvi és que, contràriament al que resultaria normal, a mesura que es va fent més de nit la temperatura va pujant més. Per tant és evident que la pujada de temperatura no és deguda a l'escalfor de sol.

El motiu d'aquesta pujada és que bufa vent càlid de l'est primer i del sud-est després que en travessar l'illa de sud a nord, per efecte foehn, fa que l'aire a la cara nord de l'illa pugi de temperatura i es torni més sec. I com més aire càlid travessa l'illa més fa pujar la temperatura.

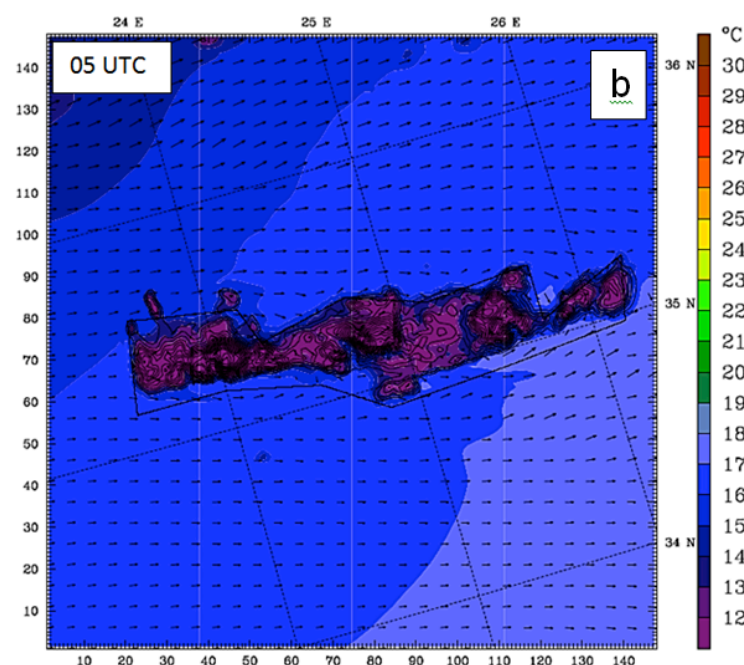
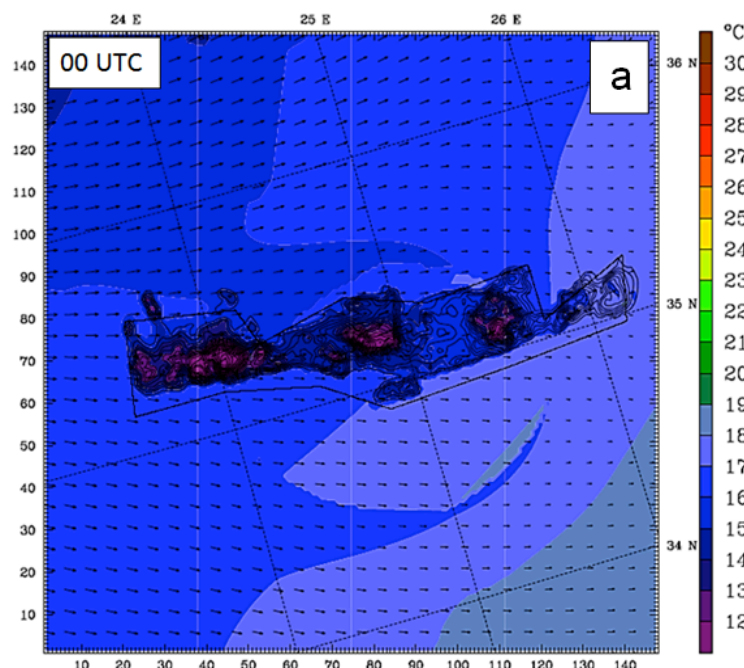
Si es continués la seqüència es veuria que cada cop bufa més vent del sud, fent pujar la temperatura fins a valors anormals per l'hora i l'època de l'any. La temperatura arriba, a les 09 UTC del dia 23 de març del 2008, fins a més de 30°C a molts punts de la costa nord de l'illa. Això és el que mostra la figura 3.2g.

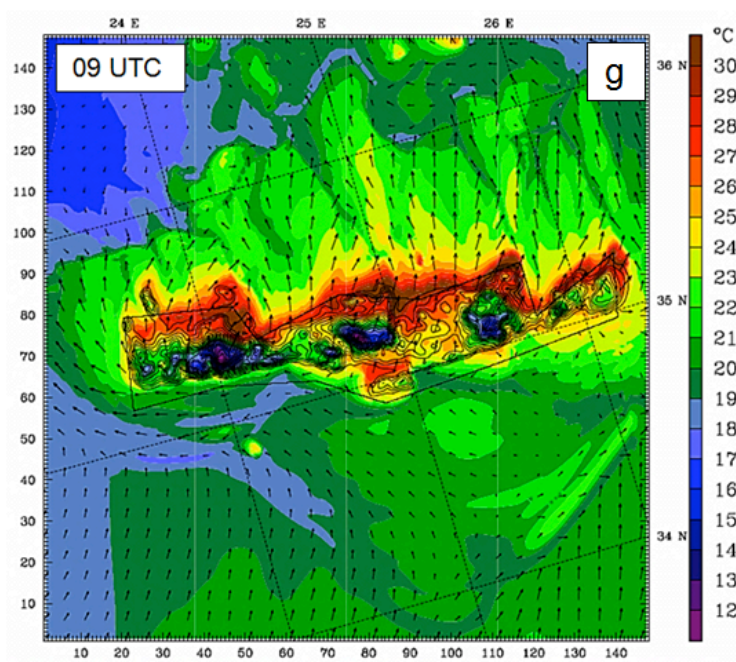
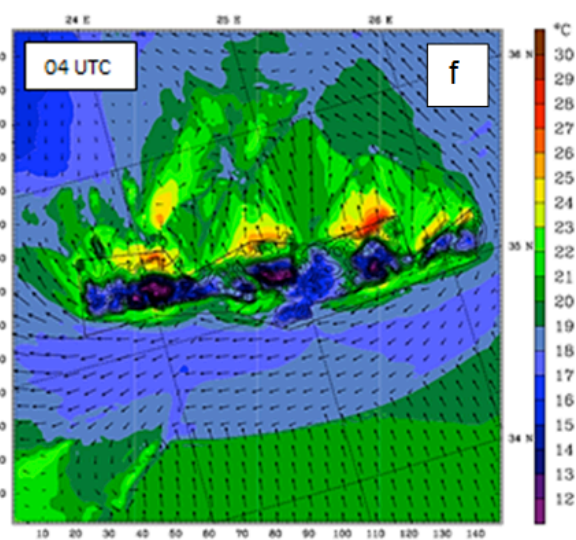
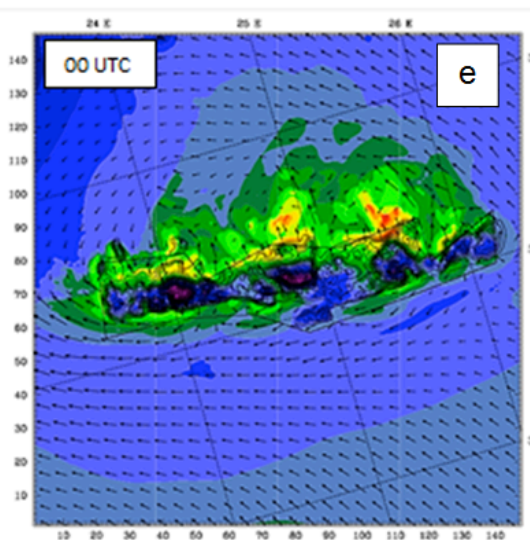
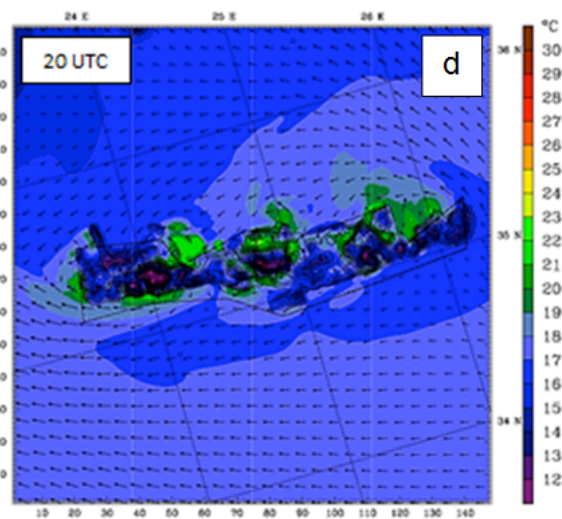
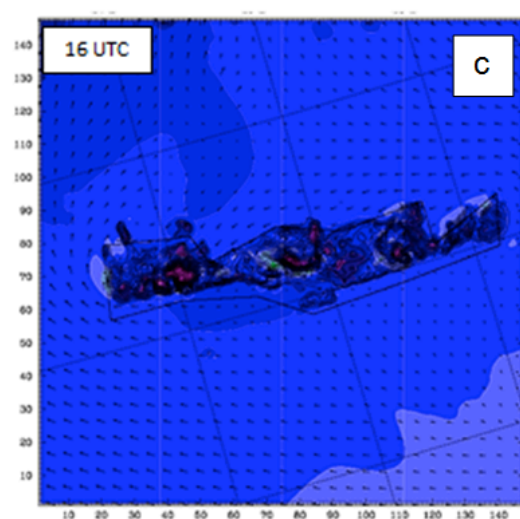
Aquest és el moment més càlid del Flash Heat. Des de les 16 UTC del dia 22 fins a les 09 UTC del dia 23 la temperatura ha pujat més de 15 graus al nord de Creta. Una pujada molt alta i molt ràpida, i més tenint en compte que s'ha produït durant la nit.

A partir d'aquest moment la temperatura es manté en aquests valors elevats fins cap a les 13 UTC. A partir d'aquesta hora el vent comença a agafar component d'oest, portant aire fred de l'oest i desplaçant l'aire calent que hi havia a l'illa cap a l'est. Fent baixar d'aquesta manera la temperatura.

Això es mostra a la seqüència de la figures 3.2g, 3.2h, 3.2i i 3.2j. Com es pot observar a la seqüència en aquestes 4 hores la temperatura baixa bruscament al nord de l'illa. Començant per l'oest les zones amb temperatura més elevada es van reduint cada cop més i es pot observar, sobre tot al mar, la inclinació cap a l'est que agafa la zona d'aire càlid degut al vent de l'oest.

A les 17 UTC del dia 23 de març el vent de l'oest ha fet baixar la temperatura fins a nivells normals de nou. Donant per acabat l'efecte del flash heat ja que a les hores següents la temperatura evoluciona de forma normal corresponent a la data, l'hora i la localització de Creta.





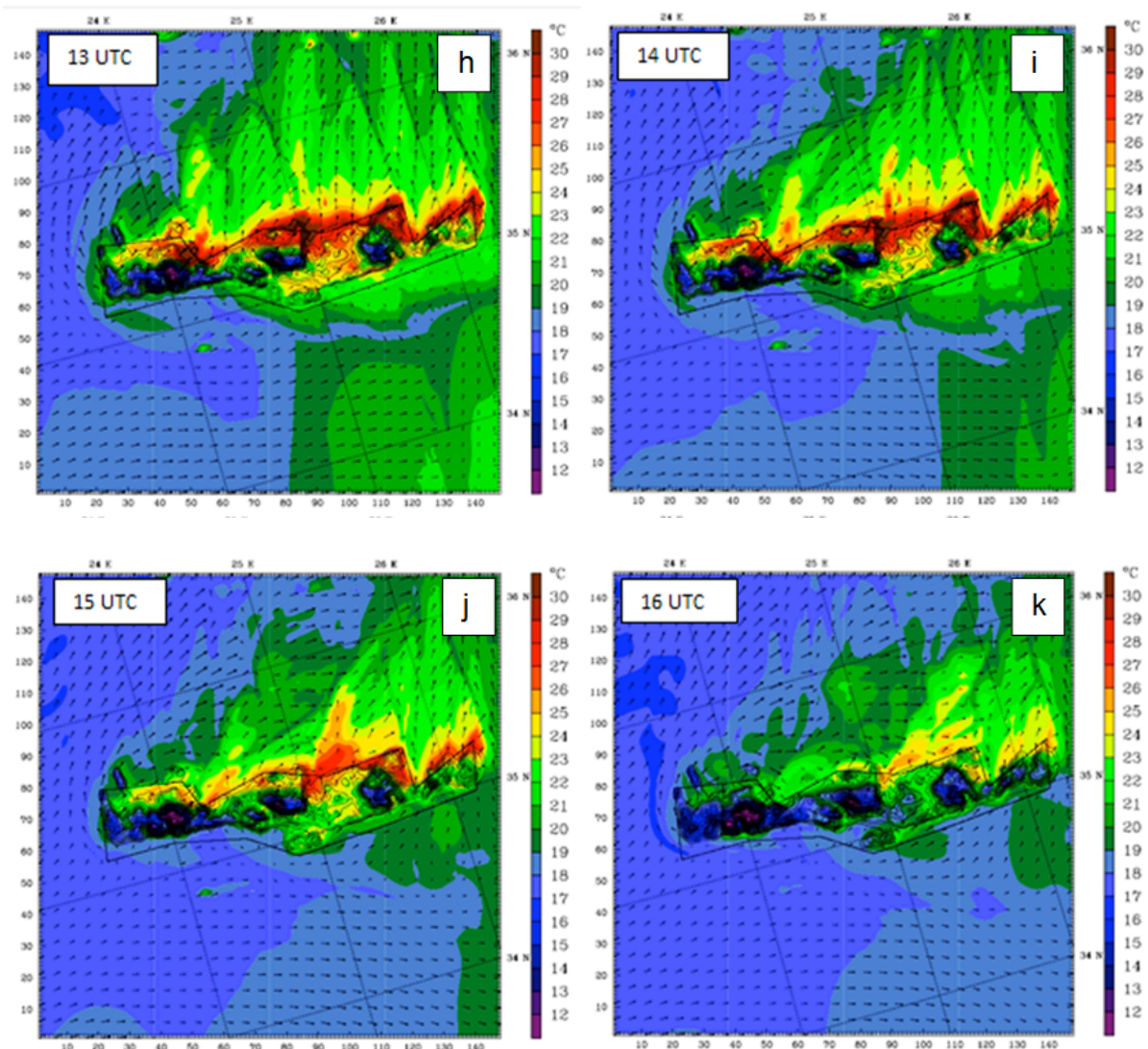


Fig. 3.2 Temperatura simulada representada amb colors i camp de vent representat amb fletxes a les 00 UTC (a), 05 UTC (b), 16 UTC (c) i 20 UTC (d) del dia 22 de març i a les 00 UTC (e), 04 UTC (f), 09 UTC (g), 13 UTC (h), 14 UTC (i), 15 UTC (j) i 16 UTC (k) del dia 23 de març del 2008

3.2.2 Seccions verticals

A continuació es mostra un segon anàlisi per acabar d'aclarir el flash heat produït a Creta. Com s'ha comentat anteriorment aquest anàlisi es realitza mitjançant l'estudi de 3 segments verticals de la zona pròxima a Heraklion en les mateixes condicions que al primer anàlisi. A les imatges es veu amb codi de color la temperatura de les diferents zones, amb línies isohumes els nivells de

humitat a les diferents alçades i amb fletxes indicadores la força i direcció del vent.

En la següent seqüència gràfica de la figura 3.7 que fa referència al segment vertical CD, on el punt C està al Nord de l'illa (a l'esquerra de les imatges) i el punt D està al sud de l'illa (a la dreta de les imatges), es mostra l'evolució de l'atmosfera en les hores prèvies al flash heat:

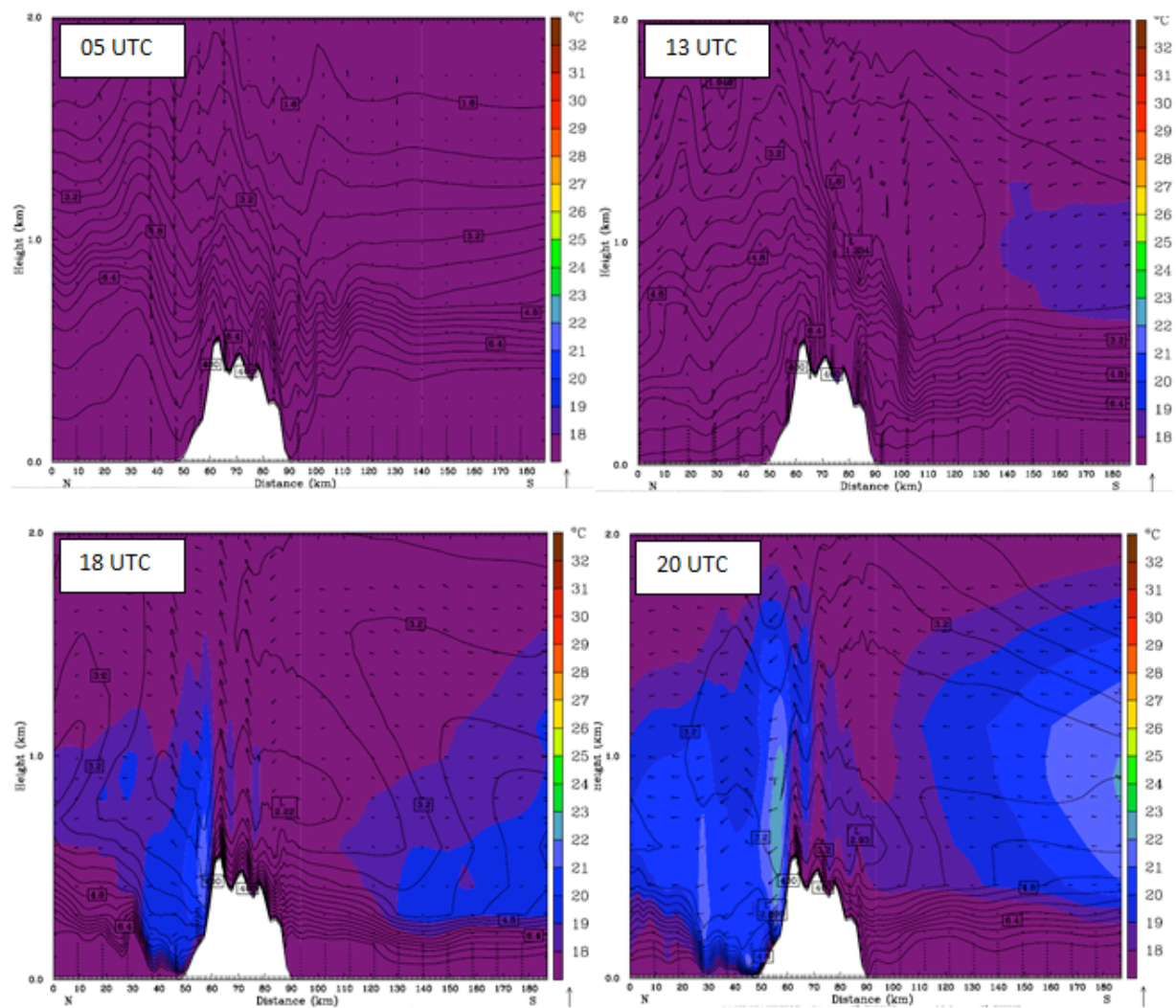


Fig. 3.7 Situació atmosfèrica al tall vertical del segment CD entre les 05 UTC i les 20 UTC del dia 22 de març del 2008

Com es pot veure a la figura 3.7 a les primeres hores de la simulació no hi ha vent que creui l'illa en sentit N-S. A partir de les 13 UTC aquesta component del vent s'activa fent que arribi vent del sud que porta aire més calent que el que hi havia.

En avançar aquesta massa d'aire més calenta amb direcció nord per sobre les muntanyes que hi ha a Creta es comença a produir efecte foehn. Per això a la vessant nord de les muntanyes, on es troba Heraklion, la temperatura comença a ser més alta que a la vessant sud.

Respecte a la humitat, la massa d'aire calenta que ve del sud és més seca que la que hi havia a l'illa. Per això es pot veure, observant les línies isohumes, com en avançar provoca que l'aire que hi ha a la vall sud de les muntanyes es torni més sec. S'observa com les línies de nivell de humitat es comprimeixen sota la massa d'aire que arriba.

Si ens fixem en la humitat des del principi de la simulació veiem que a les 05 UTC, el moment més fred de la nit del dia 22, trobem el nivell de humitat de 3,2 g/kg a 1200 metres d'alçada. A les 13 UTC però, a la vessant sud de la muntanya, aquest nivell es localitza a 550 metres. Per tant en 8 hores la isohuma de 3,2 g/kg ha baixat més de 600 metres al sud de l'illa. El mateix passa després amb la vall nord, la humitat cau en arribar l'aire del sud.

El següent fet destacable en referència a la humitat és ja en ple efecte foehn, on es pot veure com a una mateixa alçada al sud de l'illa la humitat és més alta que al nord de l'illa.

En referència a les corrents d'aire, quan aquest passa per sobre de les muntanyes es creen corrents d'aire vertical molt fortes. I a mesura que avança el flash heat aquestes corrents van augmentant. Analitzant les gràfiques del segment vertical EF, el que talla l'illa d'est a oest, es pot comprovar que a les 19 UTC del dia 22 s'arriba a ràfegues de vent vertical màximes de 313,5 cm/s. Mirant les ràfegues verticals màximes del segment AB, de nord-est a sud-oest, la ràfega màxima es produeix a les 07 UTC del dia 23 i és de 280,6 cm/s. I per últim al segment CD, de nord a sud, la ràfega màxima de vent vertical es produeix a les 06 UTC del dia 23 i és de 218,3 cm/s. Aquests vents verticals tan forts poden produir turbulències i poden ser perillosos per l'aviació, sobre tot tenint en compte que hi ha un aeroport a prop.

Les ràfegues de vent horitzontal que travessen Creta també van augmentat a mesura que avança l'episodi del flash heat. Els valors màxims es troben representats en el tall vertical AB, en el sentit NE-SW, on la ràfega màxima es localitza a les 06 UTC del dia 23 de març i és de 31,8 m/s.

Cal d'estacar que el comportament d'augment de la velocitat del vent a mesura que avança el flash heat es produeix clarament en les direccions N-S i NE-SW, en canvi en el tall vertical amb direcció est-oest passa el contrari, a mesura que avança el flash heat la velocitat del vent disminueix. Això es degut a que l'aire que travessa l'illa no s'orienta en aquest sentit.

Per acabar amb l'anàlisi de la simulació, a la figura 3.8 es mostra una seqüència de com evoluciona l'atmosfera pròxima a Heraklion durant el flash heat des del punt de vista del tall vertical representat pel segment AB.

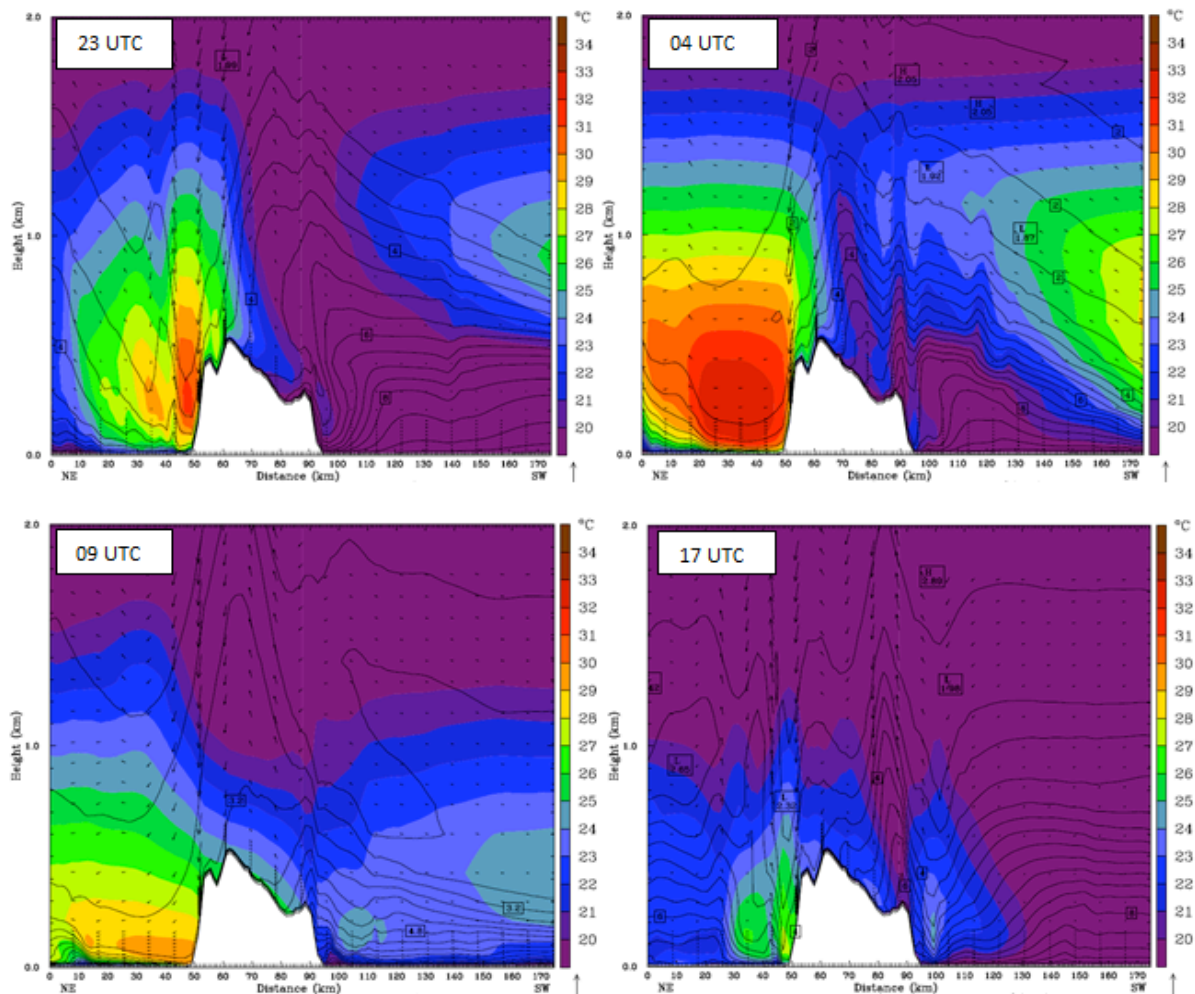


Fig. 3.8 Situació atmosfèrica al tall vertical del segment AB entre les 23 UTC del dia 22 i les 17 UTC del dia 23 de març del 2008

Aquesta seqüència comença a les 23 UTC del dia 22. Tot i que ja és de nit la temperatura és molt elevada a la vall nord de les muntanyes, on es troba Heraklion, superant els 30°C en alguns punts. Es pot veure com per sobre de l'aire fred que hi havia a l'illa va arribant una massa d'aire més calenta i més seca. Això es pot comprovar mirant els colors de les masses d'aire i veient com les línies de la humitat s'inclinen per col·locar els nivells més elevats de humitat a les zones més fredes.

A les 04 UTC es pot veure de forma evident com l'aire calent en pujar per les muntanyes es va refredant però després en caure per l'altre vessant es rescalfa arribant a temperatures més elevades de les que portava inicialment. I també perd humitat pel trajecte. Aquest és el comportament exacte de l'efecte foehn.

A les 09 UTC les temperatures comencen a baixar perquè ja no arriba tan d'aire del sud i l'efecte foehn ja no es tan fort. I finalment a les 17 UTC del dia 23 de març el flash heat ja ha acabat degut a que el vent ha canviat de direcció i ara porta vent de l'est. Com a conseqüència a part de les baixades de temperatura cap a valors normals també hi ha pujades de humitat.

Per acabar, comparant la simulació numèrica amb les dades reals de l'estació meteorològica de Heraklion es pot comprovar que els resultats d'un i l'altre concorden bastant. Hi ha petites diferències en els nivells de temperatura ja que a la simulació son lleugerament superiors, però en general es pot dir que la simulació és vàlida per estudiar l'episodi de flash heat.

CAPÍTOL 4. INFLUÈNCIA DELS FLASH HEAT A L'AERONAVEGACIÓ

4.1. Consideració prèvia

Les característiques bàsiques de l'aire, i per extensió de l'atmosfera, que defineixen el seu comportament com a fluid i que més influeixen a la capacitat de volar de les diferents aeronaus són la pressió, la temperatura i la densitat. Juntament amb la força del vent, factor que sempre influeix en qualsevol cos que es vulgui desplaçar a través d'aquest fluid.

Però abans d'entrar amb més detall amb aquests factors s'ha de tenir en compte una primera consideració que és determinar fins a quina alçada pot tenir efectes un flash heat, al menys en l'àmbit aeronàutic, ja que això determinarà a quin tipus d'aeronaus pot afectar i en quines condicions.

En principi el flash heat té efectes a baixa alçada. Segons la simulació numèrica de Heraklion els efectes més forts es produeixen en els primers 800 metres. I fins als 1400 metres es pot dir que l'atmosfera està afectada. A partir d'aquí en amunt els efectes es poden considerar menyspreables. També s'ha de dir que en el cas concret estudiat això es degut a que l'alçada de les muntanyes de Heraklion no superen els 600 metres, i per tant l'efecte foehn no es pot donar a molta més alçada.

Si ens desplacem a zones amb muntanyes més elevades on també es produeixi efecte foehn és probable que el flash heat pugi tenir efectes a més alçada. Per exemple, a Creta mateix que es troba la muntanya Idis amb 2.456 metres d'alçada o en un cas més extrem si anem cap a els Alps on la muntanya més elevada, el Mont Blanc, té 4.810 m.

<http://sobregrecia.com/2010/03/22/montana-idis-la-mas-alta-de-creta/>

Per altre banda, si es té en compte la dinàmica atmosfèrica és possible que les masses d'aire calent i sec en moviment pugin provocar un flash heat a alçades més elevades que el de Heraklion.

Els avions comercials en fase de creuer acostumen a volar per sobre dels 10.000 metres. Per tant s'ha de considerar que, al menys en aquesta fase, no estan afectats per un possible flash heat. En canvi als aterratges i als enlairaments no passa el mateix ja que estan al terra o pròxims al terra i si en poden patir les conseqüències.

Per tant, per tal de posar un límit orientatiu a l'alçada màxima a la que pot afectar un flash heat s'agafarà l'alçada a la que està l'aeroport més elevat de la Terra, l'aeroport de Bangda, al Tíbet, que es troba a 4.334 metres per sobre el nivell del mar. A més alçada que aquesta ja no hi haurà aeronaus fent operacions de vol pròximes al terra.

Aquest límit triat és totalment arbitrari i s'ha establert pensant exclusivament en les conseqüències que pot tenir a l'aeronàutica.

El següent pas es fer una llista de les aeronaus que volin per sota dels 4300 metres d'alçada, ja siguin amb motor o sense, per estudiar quins són els possibles efectes que podrien patir.

Les aeronaus més comunes que volen a baixa alçada són els globus aerostàtics, els dirigibles, els planadors, els ala delta, els parapents, els paramotors, les avionetes i els ultralleugers. A part s'afegeix els avions que tot i que la majoria del temps volen per alçades superiors en les fases d'aterratge i enlairament també poden patir les conseqüències d'un flash heat.

4.2. Conseqüències del flash heat a l'aeronàutica (I)

Ara es procedirà a fer un anàlisi genèric, tot i que majoritàriament agafant com a referència els avions, de les conseqüències del flash heat a l'aeronàutica. S'estudiarà com els paràmetres atmosfèrics que varien amb un flash heat (temperatura, pressió, densitat, humitat i força del vent) afecten a les actuacions de vol de la pròpia aeronau i la relació amb l'entorn.

4.2.1. Densitat

La densitat de l'aire és un indicador de quanta massa d'aire hi ha en un determinat volum. És una de les propietats de l'aire que més afecten a les operacions de vol de les aeronaus.

En condicions normals la densitat de l'aire depèn principalment de l'altitud. Però en aquest cas els factors que tenen més rellevància són les condicions de temperatura, pressió i humitat que en combinar-se fan baixar la densitat, tal i com s'ha explicat anteriorment. Aquest fet provoca varies conseqüències que s'exposen a continuació.

Efectes de la densitat en la sustentació

La sustentació és la força generada sobre un cos que es desplaça a través d'un fluid (aire) i que té direcció perpendicular a la velocitat relativa de la corrent de vent incident, tal com mostra la figura 4.1.

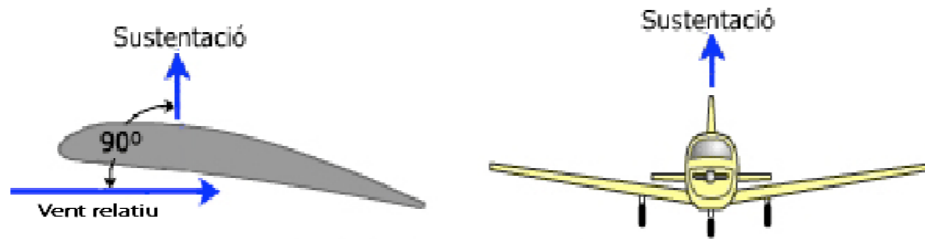


Fig. 4.1 Imatge il·lustrativa del comportament de la sustentació

Per veure quina influència podria tenir un flash heat sobre la sustentació es partirà de la fórmula necessària per calcular-la.

$$L = 1/2\rho V^2 SC_L \quad (4.1)$$

Els termes de l'equació són:

- L: Sustentació
- ρ : Densitat de l'aire
- V: Velocitat de l'aire
- S: Superfície de l'ala
- C_L : Coeficient de sustentació

Dels termes l'únic que pot variar amb els canvis de les condicions ambientals és la densitat de l'aire. La velocitat de l'aire, la superfície de l'ala i el coeficient de sustentació depenen d'altres factors.

La densitat de l'aire influeix de manera proporcional amb la sustentació. A major densitat d'aire major sustentació.

http://www.ala13.com/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=59

Una aeronau que estigui travessant una zona amb flash heat patirà una disminució de densitat i per tant obtindrà menys sustentació. Aquesta seria la primera conseqüència negativa que patiria una aeronau.

Una segona conseqüència de la baixada de densitat seria que l'aire menys dens provocaria la entrada en pèrdua abans. Un perfil alar entra en pèrdua quan perd la capacitat de generar sustentació, i la densitat és un dels factors que poden fer variar en quin moment s'hi arriba.

Un avió en vol hauria de contrarestar aquesta pèrdua sobtada de densitat i sustentació fent maniobres com augmentar el règim del motor per aconseguir més velocitat, augmentar l'angle d'atac de les ales per millorar el coeficient de sustentació o bé desplegar flaps per augmentar el coeficient de sustentació i la superfície de l'ala. D'aquestes maneres es poden modificar els altres termes de la equació de sustentació per tal de compensar la pèrdua de densitat i, si és possible, retardar l'entrada en pèrdua.

Per tenir una idea més quantitativa de la pèrdua de sustentació que pot patir una aeronau es compararà la sustentació que es tindria el 23 de març a les 09 UTC (moment més càlid del flash heat de Heraklion) amb la sustentació que es tindria si es volés volant 24 hores abans.

La pèrdua de sustentació que es produeix es mostra en els càlculs següents:

Partint de les dades inicials:

- L = sustentació el 22 de març
- L' = sustentació el 23 de març
- $P = 1,196682 \text{ kg/m}^3$ (densitat el 22 de març)
- $\rho' = 1,145919 \text{ kg/m}^3$ (densitat el 23 de març)

$$\rho' / \rho = 0,9576 \quad (4.2)$$

$$\rho' = 0,9576 * \rho \quad (4.3)$$

$$L = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * C_L \Rightarrow 100\% \quad (4.4)$$

$$L' = \frac{1}{2} * \rho' * V^2 * S * C_L = \frac{1}{2} * 0,9576 * \rho * V^2 * S * C_L \Rightarrow 95,76\% \quad (4.5)$$

$$L - L' = 4,24\% \quad (4.6)$$

Després de calcular que la densitat del dia 23 és 0,9576 vegades la densitat del dia 22 s'ha pogut calcular que la sustentació del dia 23 és el 95,76% de la sustentació del dia 22. En restar els percentatges s'ha pogut comprovar que la sustentació del dia 23 ha caigut un 4,24% degut al flash heat, en comparació amb la sustentació que es tindria el dia abans. També s'ha fet els mateixos càlculs però amb el dia següent, o sigui el dia 24, i ha donat un resultat similar.

A priori sembla un pèrdua petita ja que només augmentant la velocitat un 2% es podria compensar, però pot ser perillosa si l'aeronau en qüestió estigues volant amb un angle d'atac pròxim al d'entrada en pèrdua i tingués poca capacitat d'augmentar més la velocitat. Això podria succeir per exemple amb un ultralleuger o una avioneta que estiguessin molt carregades de pes. En aquest cas en passar d'una zona amb alta densitat d'aire a una zona amb flash heat sobtadament l'estabilitat del vol estaria compromesa.

Efectes de la densitat en la resistència

Un altre factor molt important en el vol d'una aeronau és la resistència aerodinàmica. La resistència és la força que s'oposa al moviment de l'aeronau i que actua de forma paral·lela i en la mateixa direcció que el vent relatiu. Està formada per dos components, la resistència induïda que és produïda per la

generació de sustentació i la resistència paràcita que és produïda per la oposició de l'aire a que un cos es mogui a través seu. Tal com mostra la figura 4.2.



Fig. 4.2 Imatge il·lustrativa del comportament de la resistència

La fórmula per calcular-la és similar a la de la sustentació:

$$D = 1/2\rho V^2 S C_D \quad (4.7)$$

On:

- D: Resistència
- ρ : Densitat de l'aire
- V: Velocitat de l'aire
- S: Superfície de l'ala
- C_D : Coeficient de resistència

Per tant ens tornem a trobar que l'únic terme que depèn de les condicions ambientals és la densitat. Si en el cas de la sustentació la disminució de densitat era perjudicial pel vol de l'aeronau en aquest cas és al contrari. A menys densitat de l'aire menys resistència produïda. Concretament disminueixen tant la resistència induïda com la resistència paràcita. La primera perquè en baixar la densitat es perd sustentació i per tant es redueix la resistència induïda. I la segona perquè com l'aire és menys dens hi haurà menys partícules que s'oposin al moviment de l'aeronau.

Així que per aquesta banda es podria reduir combustible si es redueix el règim del motor per mantenir la mateixa velocitat.

<http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF37.html>

Efectes de la densitat en els motors

Els motors dels avions produeixen potència en funció del combustible i del pes de l'aire que entra a la càmera de combustió. Perquè el motor sigui eficient és necessari regular la barreja d'aire i combustible amb les proporcions adequades per cada règim.

Hi ha diferents tipus de motors amb diferents funcionaments, però en general en el cas de volar una zona amb flash heat la disminució de la densitat

originaria dos efectes: d'una banda el rendiment del motor seria menor ja que hi hauria menys aire per cremar i per tant la explosió seria menys forta. I per l'altre banda com que la quantitat d'aire a l'admissió és més petita es requeriria menys quantitat de combustible per mantenir les proporcions adequades de la barreja.

En cas de que no es redueixi la quantitat de combustible hi haurà al motor un excés de combustible i això pot provocar un consum excessiu i en conseqüència una reducció del temps de vol i del radi d'operació. També pot causar que el motor funcioni de forma irregular i per tant que no pugi donar tota la seva potència. I per últim pot provocar que la temperatura d'operació del motor sigui més baixa del desitjable.

Si per contra es rebaixa la quantitat de combustible per adaptar-la a la quantitat d'aire s'estarà consumint menys combustible per una banda però per l'altre la explosió perdrà força i per tant el motor prestacions.

En els avions i avionetes modernes el pilot no ha de fer res davant de situacions com aquestes. Els avions s'autoregulen per baixar la quantitat de combustible o comprimir més l'aire quan és necessari si disposen de turbocompressor.

<http://www.aviadores.eu/densidad.html>

Efectes de la densitat en les hèlixs

Les hèlixs de les aeronaus produeixen empenta o tracció en funció de la massa d'aire accelerada per les pales de la mateixa. L'hèlix és menys eficient amb una densitat baixa de l'aire que amb una d'alta ja que a més densitat més quantitat d'aire podran accelerar i per tant obtenir més força resultant.

Així que en un flash heat les hèlixs seran menys eficients ja que hi haurà menor densitat.

Altres efectes de la densitat

Degut a les conseqüències de la pèrdua de densitat explicades anteriorment es genera un altre efecte negatiu més, es necessita més longitud de pista per fer l'enlairament amb la mateixa massa màxima prevista (MTOW). Això és a causa de que el motor té lleugerament menys força per generar la velocitat requerida per aconseguir la sustentació necessària per procedir a l'enlairament. I més tenint en compte que la velocitat haurà de ser lleugerament superior per compensar la falta de densitat i per posar un marge segur davant la l'entrada en pèrdua. Aquesta sèrie de factors farà que per l'enlairament i es necessiti una mica més de temps. Que per poc que sigui repercutirà en un allargament de la carrera en pista.

Una altra manera de compensar tots aquets efectes, per exemple en cas de que no es disposi de més carrera de pista, seria rebaixar la MTOW.

4.2.2. Humitat

Per efecte de l'evaporació l'atmosfera sempre conté alguna part de molècules d'aigua en forma de vapor, les quals ocupen el lloc de les molècules d'aire sec. A causa de la menor densitat del vapor d'aigua respecte l'aire sec un determinat volum d'aire humit pesa menys (és menys dens) que el mateix volum d'aire sec. Aproximadament un 37% menys.

<http://www.aeroclub-mendoza.com.ar/escuela/altituddensidad1.html>

En general les variacions de humitat no provoquen efectes significatius en les actuacions de les aeronaus. De fet en les taules de rendiment per avions no sol considerar-se la humitat. En l'única situació en que convé tenir en compte aquest factor és si hi ha percentatge elevat d'humitat en l'atmosfera, ja que en aquest cas el rendiment del motor disminueix.

Per tant, en el cas concret d'un flash heat la baixada de humitat no serà un factor determinant per les actuacions de vol de les aeronaus. És més, aquesta falta de humitat als aeròdroms pot ser beneficiosa ja que en les operacions d'enlairament i aterratge l'estat de la pista pot tenir una gran influència. Una pista molt humida o mullada produeix major resistència al moviment de l'avió que una pista seca. Això implica una carrera d'enlairament més llarga i per tant la necessitat d'una major longitud de pista per enlairar-se. Una situació similar passa en l'aterratge on per l'excessiva humitat de la pista faria falta més carrera per poder frenar l'avió. Com en un flash heat es dona el cas invers, la humitat és molt baixa, no es requereixen majors carreres de pista ni s'augmenta el consum de combustible en l'enlairament. Tampoc s'augmenta el temps d'ocupació de les pistes pel motiu de la baixa humitat.

4.2.3. Vent

L'efecte del vent en les aeronaus depèn de la fase de vol. En vol de creuer dels avions, que és el cas que no té relació amb el flash heat, el vent de cua és beneficiós ja que incrementa la velocitat respecte a terra permetent reduir el temps de vol. Per contra el vent de cara incrementa la resistència a l'avanç i per tant el consum de combustible.

En l'enlairament i l'aterratge passa el contrari. El vent de cara és positiu ja que fa més curta la carrera d'enlairament o aterratge, incrementa l'angle d'ascens i el camí de descens i possibilita millors condicions per salvar els obstacles pròxims a l'aeròdrom. El vent de cua en canvi produeix l'efecte contrari. En casos extrems és tan perjudicial que no permet procedir a l'enlairament en la direcció desitjada.

Pel que fa al vent lateral o creuat en funció de la força també pot ser molt perjudicial per l'estabilitat dels aterratges i els enlairaments. Sobre tot si es tracta d'una aeronau petita.

En el cas d'un flash heat la velocitat del vent augmenta tant en horitzontal, principalment en la direcció on avancen les masses d'aire calent, com en vertical creant corrents ascendents i descendents en les zones pròximes a les muntanyes que provoquen l'efecte foehn. Sempre que aquesta sigui la causa

del flash heat. També pot ser que es creïn corrents verticals d'aire (tèrmiques) degut al escalfament de les capes baixes de la troposfera.

Vent horitzontal

Tal i com s'ha dit anteriorment, per veure si els vents horitzontals poden ser o no beneficiosos s'ha de tenir en compte la direcció en la que es vulguin fer les operacions de vol. Per exemple, en el cas concret del flash heat de Heraklion les ràfegues màximes de vent tenen direccions de procedència d'entre 190° i 200° (vents del sud). I les pistes de l'aeroport d'Heraklion tenen direcció de 90° i 270° la pista principal i de 120° i 300° la secundària.

Tenint en compte les direccions de les dues pistes i la procedència dels vents es té la següent situació en els moments de màxima força del vent.

Taula 4.1. Situació soferta per les aeronaus a l'aeroport d'Heraklion en funció de la pista a utilitzar, el tipus d'operació a realitzar i la procedència del vent

Pista	Procedència del vent	Operació	Tipus de vent principal
09	Sud	Aterratge	vent creuat
		Enlairament	vent creuat
27	Sud	Aterratge	vent creuat
		Enlairament	vent creuat
12	Sud	Aterratge	vent de cara i creuat
		Enlairament	vent de cua i creuat
30	Sud	Aterratge	vent de cua i creuat
		Enlairament	vent de cara i creuat

Les conclusions que es poden treure de la taula són que en totes les operacions hi haurà vent creuat, que amb la força que té el vent en aquests moments (24 nusos, més de 44 km/h de vent de component sud) pot ser perillós per les operacions d'aterratge i enlairament. Les aeronaus que tinguessin previst aterrar per la pista 30 i enlairar-se per la 12 sortiran doblement perjudicades ja que també tindran vent de cua, cosa que repercutirà negativament en els aspectes explicats anteriorment. I per últim, les operacions que sortiran més beneficiades seran les de les aeronaus que aterrin per la pista 12 i les que s'enlairin per la 30.

Per tenir una idea més clara de les conseqüències d'aquets forts vents es suposarà que una avioneta Cherokee Archer II de la companyia Piper volgués aterrar per la pista 09. La Cherokee Archer II és una avioneta de massa màxima autoritzada de 1.156 kg i una velocitat màxima de vent creuat demostrat de 17 nusos. Per tant el fabricant assegura que ha demostrat que

fins a vents creuats de 17 nusos l'avioneta aterrarà i s'enlairarà d'una forma segura.

<http://www.glasscockpitaviation.com/MainPages/documents/PA-28-181-POH.pdf>

Tenint en compte que l'avioneta aterrarà en direcció 90° i que l'angle del vent que arriba és de 190° respecte el nord, per tant 100° des del punt de referència de l'aeronau, es pot calcular que la component de vent creuat que rebrà l'aeronau és de 23,63 nusos. Valor que supera a la velocitat de vent creuat demostrada. Així que aquesta avioneta si volgués aterrar no ho estaria fent en condicions segures.

Un Boeing 727 per exemple, amb un pes màxim de 95.000 kg, té una velocitat màxima de vent creuat de 29 nusos. Si volgués fer el mateix aterratge que l'avioneta anterior estaria rebent una component de vent creuat de 26,6 nusos. Tot i ser un avió molt gran supera el límit de seguretat només per 2,6 nusos. Per tant queda clar la perillositat dels forts vents horitzontals produïts en un flash heat.

Vent vertical: Turbulències

Fent referència als vents verticals durant el flash heat, a les muntanyes i rodalies es creen fortes corrents d'aire vertical, tan ascendents com descendents, que poden ser perjudicials pel vol de les aeronaus.

Segons la simulació numèrica del flash heat de Heraklion a les 07 UTC del dia 23 s'arriba a ràfegues de vent vertical de 280,6 cm/s (uns 10 km/h o 5,4 nusos). Aquestes ràfegues són molt fortes i poden provocar turbulències.

<http://www.manualvuelo.com/PRE/PRE45.html>

Les turbulències són fluxos d'aire caòtics, impredecibles i desordenats que produeixen canvis de direcció i de velocitat del vent en trams de vol extremadament curts. Aquests fluxos irregulars produeixen sobre les aeronaus canvis sobtats en la trajectòria i pèrdues en la sustentació.

Els efectes de les turbulències depenen molt de les dimensions i del pes de les aeronaus. Una avioneta lleugera es veurà molt afectada per una turbulència que no afectaria gens ni mica a un gran avió de línia. Alhora, un avió ràpid rebrà sacsejades més violentes que un de lent.

En el cas d'un flash heat les turbulències produïdes es donen a les capes baixes de l'atmosfera, fet que interfereix notablement en les maniobres d'enlairament i aterratge durant les quals la velocitat de l'avió és reduïda. Raó per la qual l'avió podria entrar en pèrdua amb més facilitat, per la pèrdua de sustentació derivada de les turbulències. També interfereixen de forma important en les aeronaus que volen sense motor i a baixa alçada. En alguns casos concrets, com els globus aerostàtics o els dirigibles, no se'ls permet volar en situacions amb perill de turbulències.

El vol en condicions turbulentes també pot ser perillós com a conseqüència de dels intents del pilot per no perdre el control de l'avió i mantenir la seva altitud, actituds que de vegades poden inferir en la seguretat i no són aconsellables ja

que augmenten el risc de falla estructural i de que els passatgers puguin patir lesions o incomoditats. <http://www.hangar57.com/turbulencias.html>
De fet, les turbulències són la primera causa de danys i lesions en passatgers i tripulació en accidents que no tenen un resultat fatal.
<http://www.euroresidentes.com/viajes/vuelos/turbulencias.htm>

4.2.4. Temperatura

La pujada de la temperatura és el factor més representatiu del flash heat. En el cas aeronàutic pot tenir influències tant en aspectes físics com en químics.

En l'apartat físic per exemple, les altes temperatures no tenen un efecte directe en les actuacions de la majoria d'aeronaus ja que en principi la sustentació no depèn de la temperatura. El que sí depèn de la temperatura és la densitat, tal com s'ha explicat anteriorment. Per tant, indirectament sí que influeix en la capacitat de generar sustentació. I en el cas concret del Flash heat en augmentar la temperatura disminuirà la sustentació de les aeronaus.

Per altre banda, les altes temperatures poden provocar que la superfície del terra s'escalfi, fent que aquest escalfi a l'aire que hi ha a sobre i que aquest últim pugi provocant corrents d'aire ascendents, també anomenades corrents de convecció o tèrmiques.

Les corrents tèrmiques són la clau del èxit de les aeronaus sense motor com el parapent, els ala delta, els ultralleugers o els planadors ja que és el sistema que fan servir aquestes aeronaus per guanyar alçada.

http://www.ecured.cu/index.php/Corrientes_t%C3%A9rmicas

Tot i que també han d'anar amb compte amb les tèrmiques perquè si són molt fortes poden provocar turbulències perilloses. Les aeronaus que les fan servir han de seguir una tècnica específica de vol, volar fent cercles al voltant del centre de la tèrmica, per aprofitar-se de la empenta vertical que ofereixen sense perdre l'estabilitat i el control de l'aeronau.

<http://www.pasionporvolar.com/corrientes-termicas-y-turbulencias/>

En el cas concret del parapent, un forta i descontrolada corrent d'aire pot aconseguir que una part del perfil de la vela es plegui. Aquest incident no és molt greu si el pilot és experimentat, però per un pilot principiant pot ser un fet molt perillós.

<http://es.scribd.com/doc/2309183/Parapente-MANUAL-DEL-PARAPENTISTA-Edicion-Completa>

En l'apartat químic, en el cas dels motors de les aeronaus que estiguin volant a baixa alçada (sobre tot avionetes o avions fent operacions d'aterratge o enlairament) com més gran és la temperatura de l'aire d'entrada més gran és el risc de detonació. Fet que fa baixar el rendiment del motor. Això és degut a que per aprofitar de manera eficient tota l'energia alliberada per la combustió de la barreja d'aire i combustible aquesta combustió ha de produir-se de manera progressiva i no gaire ràpida. Però en el cas de detonació es produeix una combustió espontània, violenta i excessivament ràpida d'aquesta barreja.

A part del risc a detonació l'eficiència dels motors pot disminuir per la relació temperatura-densitat explicada anteriorment.

Més enllà de l'eficiència del motor les altes temperatures provoquen que les aeronaus produeixin més quantitat de gasos contaminants. Com més calent entra l'aire de l'exterior al motor més calenta serà la reacció de combustió, i en conseqüència més monòxids de carboni, òxids de sulfur i òxids de nitrogen en produiran. Que juntament amb el diòxid de carboni són partícules molt contaminants que desprenen els gasos d'escapament dels avions.

Font: Gas Turbine Handbook Principles and Practice, Toni Giampaolo

En el cas extrem en que la temperatura fos massa elevada es podria entrar en el risc de que els components dels motors es sobreescalfin per sobre la temperatura de fusió i que es fonguin, es deformin o es trenquin.

Font: Fernando Millabobsky

4.3. Conseqüències del flash heat a l'aeronàutica (II)

Després de l'explicació genèrica anterior, ara es farà un breu anàlisi més concret de les conseqüències d'un flash heat en els diferents tipus d'aeronaus. Les aeronaus que volin per uns mecanismes similars tindran comportaments similars davant d'un episodi de flash heat. Per aquest motiu primer de tot es tindrà en compte la divisió dels tipus d'aeronaus en funció dels diferents modes d'aconseguir sustentació: aeròstats, aerodines amb ala fixe i aerodines amb ala giratòria.

4.3.1. Aeròstats

Aquest grup d'aeronaus són les que volen gràcies a que en conjunt són més lleugeres que l'aire, i com a tal experimenten una força ascendent que els permet volar. Dintre d'aquest grup hi ha els globus aerostàtics i els dirigibles. El aeròstats fan servir el principi d'Arquímedes per guanyar alçada. Analitzant la fórmula de la seva sustentació:

$$L = g(\rho - \rho')V \quad (4.8)$$

On:

- L és la força de sustentació
- g és l'acceleració de la gravetat
- ρ és la densitat de l'aire
- ρ' és la densitat del gas de l'aeròstat
- V és el volum que ocupa el gas.

Es pot veure dels diferents termes l'únic que varia amb el flash heat és la densitat de l'aire. Segons la fórmula, la baixada de densitat de l'atmosfera produïda al flash heat repercuteix en que en fer la resta de densitats dona un

resultat més petit, i com a conseqüència la sustentació serà més petita. Per tant, a un globus aerostàtic o a un dirigible que sobrevoli una zona amb flash heat li costarà més guanyar alçada. Això es podrà compensar o bé escalfant més el gas que conté la vela o bé afegint més volum de gas de baixa densitat, majoritàriament heli, a la bossa o embolcall.

<http://www.monografias.com/trabajos91/globos-aerostaticos/globos-aerostaticos.shtml>

De les altres conseqüències del flash heat les que més poden perjudicar als aeròstats, sobre tot als globus aerostàtics que no tenen direccionament, són el vent i les corrents ascendents d'aire.

Els dirigibles, tal i com indica el seu nom, es poden dirigir gràcies a l'hèlix que porten incorporades, però els globus aerostàtics només es poden controlar verticalment. Això fa que per una banda les ràfegues de vent fortes es puguin endur el globus a zones no desitjades i per l'altre pot provocar sacsejades perilloses que poden comportar situacions perilloses per l'estructura i per la tripulació. Un pilot inexpert no hauria de pilotar un globus a partir d'una velocitat de vent en terra de 15 km/h. I, en general, ningú no ha de sortir a volar amb un globus aerostàtic amb vents superiors a 25 km/h. En el cas del flash heat de Heraklion el vent horitzontal arriba a valors de fins 44 k/h. Una velocitat prohibida per volar amb globus aerostàtic i perillosíssima per volar amb dirigible.

Pel que fa al vent vertical, tot i que és una eina que els aeròstats fan servir per guanyar alçada, segons la simulació les ràfegues verticals també són bastant fortes. Per tant els aeròstats haurien d'intentar evitar sobrevolar les zones de muntanya que durant el flash heat estan molt actives.

<http://ocw.unizar.es/ciencias-de-la-salud-1/actividades-fisicas-y-deportivas-aereas/Tema01Globo.pdf>

4.3.2. Aerodines amb ala giratòria

Aquest grup d'aeronaus són més pesades que l'aire i aconsegueixen sustentació gràcies a que tenen ales giratòries en moviment circular al voltant d'un eix fix, el rotor. Dins d'aquest grup es troben els helicòpters, l'autogir, el girodí i el convertible.

Dels efectes explicats els que més afecten a les aeronaus d'ala giratòria són els problemes amb la baixa densitat, ja que la fórmula de sustentació que fan servir és la mateixa que la ja explicada anteriorment:

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_L \quad (4.9)$$

Dintre d'aquest grup però hi ha petites diferències. Per exemple els que tenen un rotor girant per la força d'un motor, com els helicòpters i els convertibles,

com que tenen la capacitat de fer enlairaments en vertical no els hi afecta les conseqüències que tinguin a veure amb la pista (longitud de pista i estat de la mateixa). La densitat només afectarà a la capacitat de generar sustentació, que serà menor per a una mateixa velocitat de rotació de les pales.

Una altre petita diferencia és la capacitat d'autorotació que tenen algunes d'aquestes aeronaus. L'autorotació és mantenir el vol en descens controlat sense fer servir la potència d'un motor, només amb la velocitat amb la que el vent que travessa verticalment el rotor de baix a d'alt fa girar les pales. En aquest cas les aeronaus com l'autogir podrien aprofitar les corrents verticals que es formen a la muntanya, sobre tot a la bada de sobrevent que no hi ha corrents descendents, per aconseguir més capacitat de sustentació.

<http://www.heliworks.co.cl/volar.htm>

4.3.3. Aerodines amb ala fixe

Aquest grup d'aeronaus són més pesades que l'aire i aconsegueixen la seva sustentació mitjançant una interacció aerodinàmica entre les ales i l'aire. Dintre de les aeronaus amb ala fixe es poden fer dos subgrups, per una banda els que tenen motor per generar empenta i per l'altre els que no en tenen. En el primer subgrup es troben els avions, els paramotor, i els ultralleuger. En el segon subgrup estarien els planadors, els ala delta i els parapents.

La majoria d'efectes adversos que té el flash heat en una aeronau amb ala fixe ja s'ha explicat anteriorment. S'ha comentat la importància de la disminució de la densitat amb totes les seves repercussions, la perillositat d'arribar a temperatures elevades i els perills del fort vent.

L'única cosa a destacar és que les diferències que pugin tenir aquets dos subgrups d'aeronaus respecte als efectes adversos d'un flash heat estaran força compensades. Per una banda les que no tenen motor perdran capacitat de sustentació i els hi costarà més de compensar perquè no tenen motor que els proporcioni més empenta. Però per l'altre banda les aeronaus amb motor estaran perjudicades tant per la pèrdua de sustentació com per la pèrdua de rendiment del motor. Així que el flash heat és negatiu per tots dos grups.

Conclusions

Sovint es parla amb molta facilitat de fenòmens com una onada de calor sense tenir clar si realment el que descrivim és una onada de calor. Partint d'aquest punt l'objectiu principal d'aquest treball era exposar en què consistia aquest nou fenomen anomenat flash heat. Explicant-lo de forma clara i extensa per tal de que no prestés a confusió quan es parlés d'ell. Per aquest motiu primer s'ha optat per explicar què és una onada de calor i que és un *heat burst*. Fenòmens similars al flash heat que podrien portar a confusions si no és delimiten bé les característiques.

Com s'ha vist una onada de calor és un fenomen que abasta superfícies d'entre centenars i milers de quilòmetres, que és caracteritza per ser un període de temps amb temperatures anormalment elevades durant almenys tres dies i és provocat per la dinàmica atmosfèrica.

Per una altra banda, el *heat burst* és un estrany fenomen d'escala local que també es caracteritza per temperatures anormalment altes però durant només uns quants minuts. I va acompanyat de fortes ràfegues de vent i està associat als finals de les turmentes.

Entre aquets dos fenòmens meteorològic es troba el flash heat. Fenomen d'escala mesoscala, afecta entre 20 i 200 km de superfície, que defineix un període amb temperatures anormalment altes que dura entre 1 i 24 hores. I està provocat per l'efecte foehn i a la dinàmica atmosfèrica.

Per tal d'entendre bé l'origen del flash heat s'ha explicat quines eren les causes que el produïen. S'ha explicat que era la dinàmica atmosfèrica i que era l'efecte foehn. I s'ha fet un petit incís sobre els problemes que portar un flash heat a nivell general.

A partir d'aquí s'ha procedit a analitzar un cas real de flash heat, el que es va produir entre els dies 22 i 23 de març del 2008 a l'illa de Creta, concretament a la seva capital Heraklion.

S'ha fet dos tipus d'anàlisis. Un amb les dades captades per l'estació meteorològica de Heraklion en els dies del flash heat. I l'altre amb una simulació numèrica fent servir el model de mesoescala MM5.

En el primer anàlisi s'ha estudiat totes les dades meteorològiques proporcionades per trobar quin era el comportament dels diferents paràmetres atmosfèrics. Les dades s'han passat a gràfics lineals per fer un l'anàlisi més visual i s'ha relacionat i justificat el motiu dels canvis dels diferents paràmetres.

El segon anàlisi s'ha dividit en dos parts. Primer s'han analitzat mapes de superfície de l'illa de Creta on es mostrava en codi de colors com evolucionava la temperatura i amb fletxes el camp de vent. El segon anàlisi s'ha realitzat mitjançant diferents talls verticals de Creta per comprovar com es comportava la zona atmosfèrica al voltant de Heraklion en referencia a la temperatura, la humitat i el camp de vent. En aquets talls verticals, on es veia el perfil de les muntanyes, s'ha pogut comprovar com l'efecte foehn era el causant del flash heat. La conclusió més destacable d'aquest anàlisi ha estat comprovar la importància vital que té en les condicions atmosfèriques la direcció, la força i la procedència del vent.

El quart i últim capítol ha estat destinat a relacionar els canvis atmosfèrics produïts pel flash heat amb el sector aeronàutic. Primer de tot s'ha delimitat a zona en que afecta un flash heat, cosa que ha suposat excloure de l'estudi les fases de creuer dels avions. Després s'ha fet un anàlisi en mode general sobre quina influència tindrien les variacions dels paràmetres afectats pel flash heat amb les operacions de les aeronaus. En aquest apartat s'ha comprovat que el factor que més efectes provocava era la baixada de densitat. Aquesta provocava pèrdua de sustentació en les ales i les hèlixs, pèrdua de coeficient de resistència, pèrdua d'eficiència als motors i un augment de pista necessari per l'enlairament.

Després s'ha analitzat la humitat, el vent i la temperatura. La pressió no s'ha analitzat perquè els efectes que produeix ja s'ha explicat amb els altres paràmetres. Cal destacar que la baixada de humitat no té conseqüències importants en les aeronaus, que l'augment de temperatura a part de comportar densitats menors pot provocar entre altres coses que augmenti la contaminació atmosfèrica i que la força del vent, tal i com s'ha demostrat amb càlculs, pot ser tan perillosa que en funció dels tipus d'aeronaus els hi complicaria molt el realitzar operacions com l'aterratge.

Per últim s'ha fet un breu anàlisi més concret sobre els diferents tipus d'aeronaus. En aquest apartat s'ha vist, per exemple, que els aeròstats també perden sustentació amb el flash heat. I que com són molt susceptibles als forts vents no és adequat que volin en les hores de vent fort. També s'ha vist en aquest apartat que les aeronaus d'ales giratòries pràcticament tenen les mateixes conseqüències que les que tenen ales fixes, entre altres coses perquè comparteixen els mateixos principis per aconseguir sustentació.

Com a conclusió final puc dir que realitzant aquest projecte d'investigació he pogut comprovar les amplies conseqüències que tenen els canvis meteorològics en el món de l'aeronàutica i m'ha quedat clara l'estreta relació que tenen.